

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY  
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

**AUTOMATIZACE MĚŘENÍ AUDIO ZAŘÍZENÍ NA  
PLATFORMĚ APX500**

AUTOMATION OF AUDIO DEVICE MEASUREMENT ON APX500 PLATFORM

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Richard Panáček**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.**

**BRNO 2020**

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Audio inženýrství**  
specializace Zvuková produkce a nahrávání  
Ústav telekomunikací

**Student:** Richard Panáček

**ID:** 197740

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2019/20

## NÁZEV TÉMATU:

### Automatizace měření audio zařízení na platformě APx500

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte a popište možnosti automatizace měření audio zařízení na analyzátořech Audio Precision řady APx500 v prostředí LabVIEW, VEE a pomocí programovacího jazyka Visual Basic nebo jiného. Pro prostředí LabVIEW a pro vybraný programovací jazyk vytvořte ukázkové projekty pro měření základních parametrů audio zařízení a reproduktoru. Zaměřte se zejména na měření modulových kmitočtových charakteristik a kmitočtových závislostí dalších parametrů zařízení, u reproduktoru realizujte měření jeho komplexní impedanční charakteristiky a následný výpočet TS parametrů. Snažte se maximálně využít měření nabízených analyzátořem. V práci zdokumentujte postup tvorby projektu pro LabView a tvorby kódu pro vybraný programovací jazyk.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ESSICK, John. Hands-On Introduction to LabVIEW for Scientists and Engineers. 4th ed. Oxford University Press, 2018. ISBN 978-0190853068.

[2] AES standard method for digital audio engineering - Measurement of digital audio equipment. Rev. 2004. Audio Engineering Society, 2004.

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 8.6.2020

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.

**doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

# Bachelor's Thesis

Bachelor's study program **Audio Engineering**  
specialization Zvuková produkce a nahrávání  
Department of Telecommunications

**Student:** Richard Panáček

**ID:** 197740

**Year of  
study:** 3

**Academic year:** 2019/20

## TITLE OF THESIS:

### Automation of Audio Device Measurement on APx500 Platform

## RECOMMENDED LITERATURE:

[1] ESSICK, John. Hands-On Introduction to LabVIEW for Scientists and Engineers. 4th ed. Oxford University Press, 2018. ISBN 978-0190853068.

[2] AES standard method for digital audio engineering - Measurement of digital audio equipment. Rev. 2004. Audio Engineering Society, 2004.

**Date of project  
specification:** 3.2.2020

**Deadline for submission:** 8.6.2020

**Supervisor:** doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.

**doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.**  
Chair of study program board

## WARNING:

The author of the Bachelor's Thesis claims that by creating this thesis he/she did not infringe the rights of third persons and the personal and/or property rights of third persons were not subjected to derogatory treatment. The author is fully aware of the legal consequences of an infringement of provisions as per Section 11 and following of Act No 121/2000 Coll. on copyright and rights related to copyright and on amendments to some other laws (the Copyright Act) in the wording of subsequent directives including the possible criminal consequences as resulting from provisions of Part 2, Chapter VI, Article 4 of Criminal Code 40/2009 Coll.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi automatizace měření na platformě APx500. Této automatizace by mělo být dosaženo nejen s využitím měřicího programu APx500, ale také s využitím programu třetích stran. V těchto programech by měli být vytvořeny měřicí projekty. Mezi mnoho kompatibilních programy patří LabVIEW, VEE, a programovací prostředí využívající jazyk Visual Basic. Práce je dělena do několika částí. První částí je seznámení s programem APx500 a s nabídkou jeho funkcí. Druhá část se zabývá propojením programu APx500 s programy třetích stran s využití APx API. V praktické části se práce nejprve věnuje vytváření měřicího projektu v prostředí LabVIEW pro měření kmitočtové přenosové charakteristiky. Poté je práce zaměřena na vytváření měřicího projektu uvnitř dokumentu Excel, s využitím jazyka Visual Basic for Applications. Tento projekt je k měření akustické odezvy, impedance a Thiele-Smallových parametrů reproduktoru.

## **Klíčová slova**

APx500, API, VBA , LabVIEW, automatizace měření

## **Abstract**

This bachelor thesis is focused on the options of measurement automatization on the platform APx500. This automatization should be achieved not only with the use of the measuring program APx500, but also with the use of third-party programs. In these programs, measuring projects should be created. Among many compatible programs, there are LabVIEW, VEE, and a programing environment using Visual Basic language. The thesis is divided into many parts. The first part is focused on the introduction of the APx500 program and its functions. The second part is aimed at the connecting program APx500 with third-party programs using APx API. The practical part of this thesis is about the creation of a measuring project for frequency response in program LabView. Afterwards, this thesis focuses on creating a measuring project inside Excel document, with the usage of Visual Basic language for Applications. This project is intended to measure acoustic response, impedance and Thiele-Small parameters of a loudspeaker.

## **Keywords**

APx500, API, VBA , LabVIEW, automated measurement

## **Bibliografická citace:**

PANÁČEK, Richard. *Automatizace měření audio zařízení na platformě APx500* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125866>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Jiří Schimmel.

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Automatizace měření audio zařízení na platformě APx500 jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: .....

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu práce Doc. Ing. Jiřímu Schimmelovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: .....

.....

podpis autora



# Obsah

Úvod.....	6
1 Program APx500 a analyzátor .....	7
1.1    Základní seznámení s programem APx500.....	7
1.2    Analyzátor Audio Precision .....	7
1.3    Instalace programu APx500 a jeho propojení s analyzátozem.....	8
1.4    Možnosti využití programu APx500.....	8
1.5    Komunikace APx analyzátoru s počítačem a dalšími programy .....	8
1.5.1    USB ovladač .....	8
1.5.1    APx500 API.....	9
2 Uživatelské rozhraní programu APx500.....	10
2.1    Nástrojová lišta.....	10
2.2    Stavová lišta .....	11
2.3    Navigator.....	11
2.4    Monitors/Meters .....	11
2.5    Measurement .....	11
3 Automatizace měření .....	13
3.1    Sequence Mode v programu APx500 .....	13
3.1.1    Sequencer Properties.....	13
3.1.2    Pre-Sequence Steps .....	14
3.1.3    Signal Path .....	14
3.1.4    Post-Sequence Steps .....	14
3.1.5    Spouštění sekvence .....	15
3.2    Automatizace měření pomocí prostředí LabVIEW .....	15
3.2.1    LabVIEW .....	15
3.2.2    Instalace ovladačů APx do LabVIEW .....	15
3.3    Automatizace měření pomocí jazyka Visual Basic for Applications.....	16
3.3.1    VBA .....	16
3.3.2    Propojení Visual Studia s programem APx500 .....	17
3.3.3    Propojení Excelu s programem APx500.....	18
3.3.4    API Browser .....	18

3.4	Automatizace měření pomocí prostředí VEE .....	20
3.4.1	VEE.....	20
3.4.2	Propojení prostředí VEE s programem APx500.....	21
4	Vytváření měřicího projektu v prostředí LabVIEW .....	23
4.1	Měření typu Frequency Response.....	23
4.1.1	VEE.....	23
4.1.2	Propojení prostředí VEE s programem APx500.....	24
4.2	Vytváření nového virtuálního nástroje.....	24
4.3	Základní zákonitosti vytváření programu v LabVIEW.....	24
4.4	Programování virtuálního nástroje pro měření kmitočtové charakteristiky.....	25
5	Vytváření měřicího projektu v jazyce Visual Basic for Applications .....	32
5.1	Měření typu Acoustic Response.....	32
5.1.1	Úvod k akustické odezvě .....	32
5.1.2	Příprava měření akustické odezvy .....	33
5.2	Měření typu Impedance/Thiele-Small.....	35
5.2.1	Úvod k impedanci a Thiele-Smallovým parametrům.....	35
5.2.2	Příprava měření impedance .....	37
5.3	Vytváření nového měřicího projektu v aplikaci Excel.....	39
5.3.1	Používání API Browser a Object Browser při vývoji projektu .....	39
5.3.2	Aktivování měření .....	42
5.3.3	Nastavení parametrů měření .....	44
5.3.4	Provedení měření .....	44
6	Závěr .....	48
	Literatura.....	49
	Seznam symbolů a zkratk .....	50

## Seznam obrázků

Obr. 1 Uživatelské prostředí programu APx500 .....	10
Obr. 2: Nastavení generátoru v programu APx500 .....	12
Obr. 3: Navigační panel Navigator v programu APx500 .....	13
Obr. 4: Vytváření Visual Basic projektu s přístupem k APx API .....	17
Obr. 5: Uživatelské rozhraní API Browser .....	19
Obr. 6: Úvodní obrazovka prostředí VEE.....	21
Obr. 7: Prohlížeč funkce a objektu s nástroji pro práci s APx API .....	22
Obr. 8: Nastavení měření Frequency Responses .....	23
Obr. 9: Funkce Strings to Signal Path & Measurement s ovládacími bloky .....	25
Obr. 10: Vyplněná textová pole na předním panelu .....	25
Obr. 11: Přidaná funkce Frequency Response GetSet All s bloky konfigurace .....	26
Obr. 12: Prvek Frequency Response Config Out na předním panelu.....	27
Obr. 13: Přidaná funkce Perform Measurement s indikátorem .....	28
Obr. 14: Přidaná funkce Get XY Plots from Measurement s příslušnými prvky .....	28
Obr. 15: Konečný stav blokového diagramu vytvořeného programu.....	29
Obr. 16: Přední panel programu po dokončení měření.....	30
Obr. 17: Graf v LabVIEW po změření přípravku bez kmitočtového filtru .....	31
Obr. 18: Graf v LabVIEW po změření přípravku s kmitočtovým filtrem.....	31
Obr. 19 Nastavení měření Acoustic Response.....	34
Obr. 20 Standardní náhradní model reproduktoru .....	35
Obr. 21 Náhradní model reproduktoru LR-2 .....	36
Obr. 22 Wrightův náhradní model reproduktoru .....	36
Obr. 23 Schéma zapojení External (2Ch) (bal).....	37
Obr. 24 Nastavení měření Impedance/Thiele-Small.....	38
Obr. 25 Prohlížeč Object Browser ve vývojovém prostředí VBA Excelu .....	40
Obr. 26 Podprogram pro aktivování měření .....	44
Obr. 27 Podprogram pro nastavení parametrů měření.....	45
Obr. 28 Podprogram pro provedení měření .....	47

# ÚVOD

Měření je nezbytnou součástí vývoje a výzkumu jakéhokoliv produktu, ať už se jedná o měření elektrických vlastností u zvukové techniky či akustických vlastností u hudebními nástrojů. Měření vlastností těchto přístrojů může být časově či fyzicky náročné, a přestože urychlení těchto procesů mnohdy není možné, není vždy nutné, aby uživatel manuálně prováděl každý úkon měření nebo, aby byl po celou dobu měření přítomen. Pro zjednodušení takového měření se zavádí proces automatizace měření. Obecně je automatizace důležitou součástí usnadnění pracovního procesu a v současné době je na ni na profesionálních pracovištích kladen stále větší důraz. Automatizaci měření zvukové techniky je možné zprostředkovat pomocí analyzátoru od společnosti Audio Precision a pomocí jejich počítačového měřicího programu APx500. Tento program slouží k ovládání měřicích analyzátorů a přijímání výsledků měření. Lze ho, kromě manuálního měření, také používat pro nastavení automatického měření, při kterém program jednoduše ovládá analyzátor podobně, jak by jej musel v programu manuálně ovládat uživatel. Rovněž lze program propojit s dalšími programovacími prostředími, jakými jsou LabVIEW, VEE, či Excel a Visual Studio, které využívají jazyk Visual Basic for Applications. Tato prostředí přináší další možnosti automatizace práce s analyzátozem, což lze potenciálně využít k měření s minimální přítomností uživatele. Tato práce se zabývá automatizací měření programem APx500 a možnostmi zmíněných programovacích prostředí při jeho používání. Postupy zde uvedené lze použít jako návody pro přípravu programovacích prostředí pro práci s analyzátozem. V praktické části se práce zabývá podrobným popisem pro vytváření měřicích projektů. Mezi měřicí projekt patří virtuální nástroj v prostředí LabVIEW, pro měření kmitočtové charakteristiky, a dokument v aplikaci Excel pro měření akustické odezvy, impedance a Thiele-Smallových parametrů reproduktoru.

# 1. PROGRAM APX500 A ANALYZÁTOR

## 1.1 Základní seznámení s programem APx500

Jak již bylo zmíněno v úvodu, program slouží k oboustranné komunikaci s audio-analyzátořem, jakým je například APx515, který byl používán při praktických úkolech této práce. Program umožňuje přímé nastavení všech výstupních parametrů a v uživatelském rozhraní pak zobrazuje data přijímaná na vstupu analyzátořu. Program umožňuje uživateli přímo v sobě vytvořit projekt a nastavit parametry různých měření uvnitř takového projektu. K tomu slouží tzv. Sequence Mode, režim, který program uzpůsobí k automatickému používání analyzátořu, není ovšem navržen ke změnám nastavení programu v průběhu měřicí sekvence. Kromě toho lze program využívat i v tzv. režimu Bench Mode. Tento režim obsahuje stejně jako Sequence Mode ovládací prvky a zobrazovací plochy pro výsledky různých měřičů uvnitř zařízení přístrojů. Byl navržen pro manuální práci a umožňuje uživateli měnit nastavení měření v podstatě kdykoliv. Režim však nedovoluje prakticky žádnou možnost automatizace měření, a proto se mu tato práce nadále nevěnuje.

## 1.2 Analyzátoř Audio Precision

Zařízení, zde nazývané analyzátoř, lze chápat jako all-in-one přístroj, který kromě analyzátořů signálu obsahuje mnoho dalších laboratorních zařízení, jakými jsou například generátor signálu, různé zesilovače, digitální signálové procesory a mnohé další. Spojuje tak výstup pro měření daného audio zařízení i vstup zpět do analyzátořu pro příjem signálu, ze kterého jsou zpracovány výsledky. Analyzátoř však chybí ovládací prvky a prvky pro zobrazení výsledků měření, k čemuž slouží právě program APx500, či jiné programovací prostředí. Analyzátoř má konektory pro připojení na přední a zadní části přístroje. Přední části se liší podle modelu zařízení, avšak většinou obsahují analogové vstupy a výstupy, které jsou v případě modelu APx515 řešeny pomocí symetrických konektorů XLR a nesymetrických BNC. Rovněž se často objevuje konektor TOSLINK pro digitální přenos signálu. Vyšší třídy analyzátořů mají přední stranu přístroje modulární, což umožňuje zakoupit přístroj jen s potřebnými moduly, které jsou potřeba pro používání daného přístroje. Zadní část obsahuje napájecí konektor, konektor pro připojení k počítači, zde řešen pomocí USB, a dvojici konektorů D-Sub. První D-Sub je označen Aux Control In slouží k připojení externího zařízení, ze kterého lze měření na analyzátořu v omezené míře ovládat. Druhý D-Sub je označen Aux Control Out ten naopak vysílá do externího zařízení příkazy. Analyzátoř lze také připojit k dalším zařízením firmy Audio Precision, jakým je například výkonový zesilovač APx1701, který lze použít jako měřič impedance reproduktoru, nebo dale zdroj signálu s úrovní dostatečnou k jeho vybuzení a napájení mikrofону pro snímání jeho akustických parametrů.

## **1.3 Instalace APx500 a jeho propojení s analyzátozem**

V praktické části této práce byl používán program APx500 verze 5.0.2, který je možné získat z internetových stránek [ap.com](http://ap.com) pod záložkou audio software. Nachází se pod kategorií Measurement Software pro rodinu produktů APx Analyzers. Po stažení .zip souboru v něm stačí najít a spustit soubor „APx500Setup.exe“, který provede instalaci programu APx500. K propojení samotného programu APx500 je nutné mít nainstalován ovladač USB. Ten je obsažen v instalaci měřicího programu, případně lze stáhnout dedikovaný ovladač s názvem „APx500 USB Driver Update for APx500“, a to opět ze stránek Audio Precision. Uživatel ho nalezne pod kategorií Plugins & Drivers opět pro rodinu produktů APx Analyzers. Uvnitř staženého zip. souboru se nachází jediný další soubor a to „APx500DriverSetup.exe“. Po dokončení tohoto postupu je zajištěna oboustranná komunikace mezi analyzátozem a programem. Instalace APx500 do počítače kromě měřicího programu a USB ovladače přidá také aplikační rozhraní API, kterého využívá jak samotný program APx500, tak i další programovací prostředí využívající platformu .NET.

## **1.4 Možnosti využití programu APx500**

Kromě možností ovládání analyzátozů, využití režimu Sequence a Bench je možné program používat i jako prostředníka mezi analyzátozem a dalším programem, který využije APx500 k vlastnímu měření. Takovými programy jsou například LabVIEW, MATLAB a VEE, lze však použít i různé programovací jazyky jako jsou Visual Basic for Applications a C#. Také lze programem APx500 řídit další laboratorní přístroje, které mají možnost externího ovládání, pomocí konektoru D-Sub. Takovým přístrojem je například otočný stojan s motorem, na který lze umístit například reproduktor a nastavit projekt tak, aby se po změření akustických parametrů reproduktoru stojan s reproduktorem otočil o určitý úhel a měření poté opakoval. Tímto by se vyloučila nutnost přítomnosti uživatele pro otočení stojanu a opětovné spuštění měření. Program je také schopen po dokončení měření v režimu Sequence generovat zprávu o měření, kterou lze použít pro dokumentaci, a také umožňuje exportovat změřená data do různých typů souborů. Takovým je například soubor s příponou .mat, používaný programovacím prostředím MATLAB. Další možnosti jsou v této práci popsány později.

## **1.5 Komunikace APx analyzátozu s počítačem a dalšími programy**

### **1.5.1 USB ovladač**

Aby mohly všechny programy používat analyzátoz, je potřeba mít nainstalovaný ovladač USB, který zajistí, že data jdou z analyzátozu na sběrnici, ke které následně

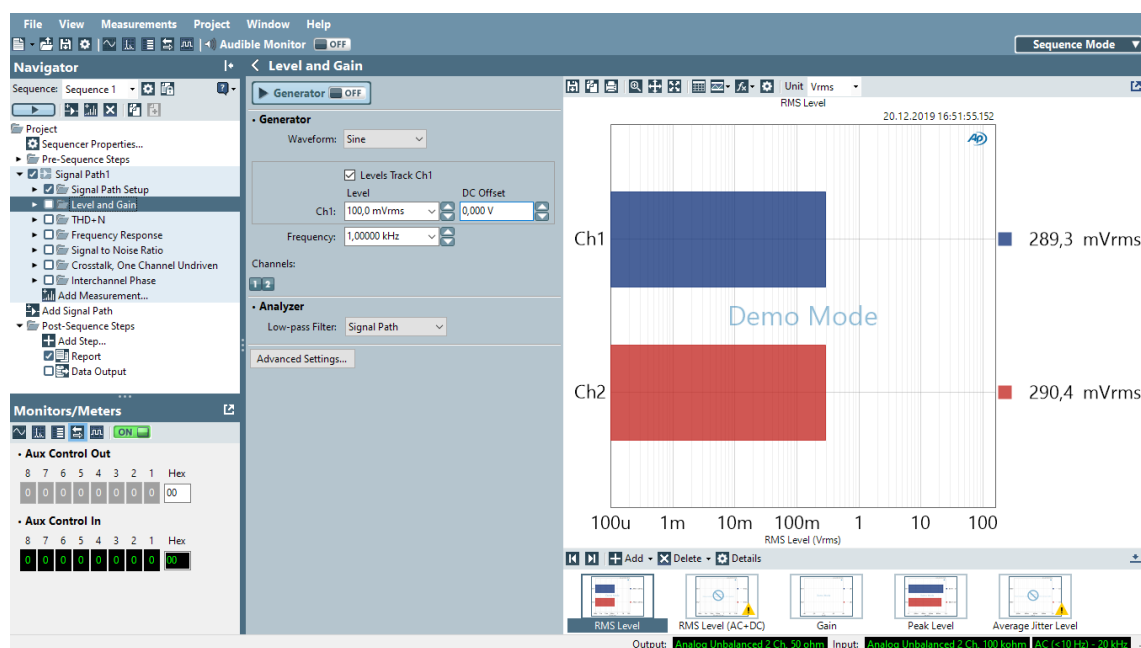
přistupuje daný program. Základní ovladač pro USB je nainstalován přímo s měřícím programem APx500. V některých případech však může dojít k chybě komunikace, která způsobí, že APx500 se při zapnutí uvede do tzv. Demo modu, ve kterém uživatel může sice vytvářet měření, avšak nemůže měření provádět. K vyřešení tohoto problému je na webových stránkách ap.com ke stažení dedikovaný ovladač USB, jehož získání je popsáno v kapitole: „Instalace APx500 a jeho propojení s analyzátozem“.

### **1.5.2 APx500 API**

Aplikační prostředí APx představuje funkce, které se velice podobají funkcím uvnitř měřícího programu APx500 a je právě s ním nainstalováno do počítače. Funkce tohoto aplikačního prostředí jsou vytvořeny v jazyku platformy Microsoft .NET, díky čemuž může být toto aplikační prostředí potenciálně využíváno všemi programovacími jazyky, které s platformou .NET umí pracovat. Aby aplikační prostředí mohly využívat různé programy třetích stran, je nutné u každého programu individuálně přidat reference pro dané prostředí. Tento postup je popsán v kapitole „Automatizace měření“ pro každý zahrnutý program. Během používání aplikačního prostředí je využíván i samotný měřící program APx500. [1]

## 2. UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ PROGRAMU APX500

Po zapnutí programu je v pravém horním rohu uživatelského rozhraní přepínač, umožňující výběr používání programu APx500 buďto v režimu Bench Mode, nebo v režimu Sequence Mode. Pro automatizované měření je však nutné používat režim Sequence. Uživatelské rozhraní sekvenčního režimu je rozděleno do několika blokových sekcí. Hlavní oblast uživatelského rozhraní je rozdělena na dvě vertikální části. První část nalevo obsahuje sekce Navigator a Monitors/Meters. Druhá část napravo není v programu APx500 pojmenována, firma Audio Precision ji však označuje jako Measurements. Tato část je určena k zobrazení nastavení a výsledků měření, které před začátkem měření nastavuje uživatel. Také jsou tu dva menší horizontální prvky nazývané Toolbar a Status bar, které jsou známé z mnoha jiných programů pro Windows. V horní části se nachází klasická lišta s nástroji a ve spodní části pak lišta zobrazující stav zařízení. [2]



Obr. 1 Uživatelské prostředí programu APx500

### 2.1 Nástrojová lišta

Nástrojová lišta je stejně jako v jiných programech umístěna v horní části uživatelského rozhraní. Umožňuje základní manipulaci s projekty (například ukládání souborů), možnosti zobrazení uživatelského rozhraní programu, volání různých měření sekvence a další nastavením samotného programu APx500. Některé z těchto funkcí lze nalézt v jiných částech uživatelského rozhraní, kde jsou většinou přehlednější, ovšem v této liště jsou sjednoceny na jednom místě.



## 2.2 Stavová lišta

Stavová lišta je vertikálně úzký prvek, který je umístěn v dolní části uživatelského rozhraní. Zobrazuje informace o vstupních a výstupních konektorech analyzátoru, jako jsou impedance a úrovně napětí. Rovněž jsou zde zobrazována varování, pokud dojde k chybě na straně zmíněných konektorů. Její obdoby jsou rovněž známé z většiny programu pro Windows.

## 2.3 Navigator

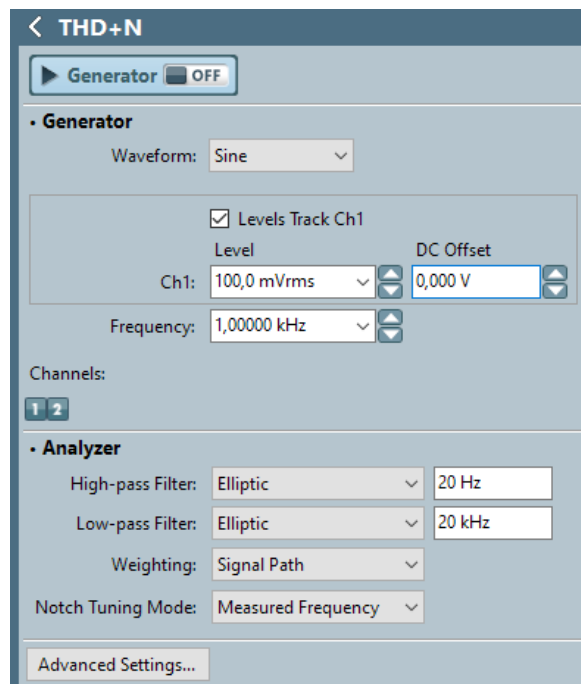
Navigator je oblast nacházející se v levé části uživatelského rozhraní. Je v něm přesně zobrazena posloupnost všech kroků měření uvnitř projektu. Tyto kroky jsou rozděleny do tří hlavních sekcí: Pre-sequence steps, Signal Path, a Post-Sequence Steps. Navigator je hlavní část programu při automatickém měření a jeho části jsou blíže popsány v kapitole Automatizace měření. Rovněž je zde umístěno tlačítko Run pro spuštění celé sekvence měření. Toto tlačítko však nelze použít k zastavení sekvence.

## 2.4 Monitors/Meters

Virtuální displej Monitors/Meters, umožňuje sledovat výsledky dat přijímané analyzátozem. Tyto výsledky je možné zobrazit na uvedeném virtuálním displeji jako grafy či indikátory požadovaných hodnot. Využívá se především k zobrazení okamžitých hodnot přijatých analyzátozem, lze ovšem zobrazit i spektrum přijímaného signálu, či sledování okamžitých stavů bitů na vstupech a výstupech konektorů Aux Control. [2]

## 2.5 Measurement

Measurements je umístěn na pravé části uživatelského rozhraní. Slouží k nastavení generátoru signálu na výstupu analyzátoru a pro nastavení analýzy změřených výsledků nebo pro kalibraci dalších zařízení jako je mikrofón. Generátor se používá například ke generování signálu Sweep, signálu se stejnou amplitudou harmonického průběhu s logaritmičticky zvyšujícím se kmitočtem, nebo nastavení kmitočtu a úrovně signálu. Stejně tak umožňuje vložit různé kmitočtové filtry a další úpravy výstupního signálu. Rovněž je zde okno, které je označováno jako Results slouží ke konečnému zobrazení již zpracovaných výsledků po dokončení měření. Tyto výsledky se zobrazují v různých typech grafů, jejichž hodnoty se aktualizují po dokončení každého kroku měření, pro usnadnění práce uživateli. V případě nutnosti je zde možné přerušit probíhající měření. [2]

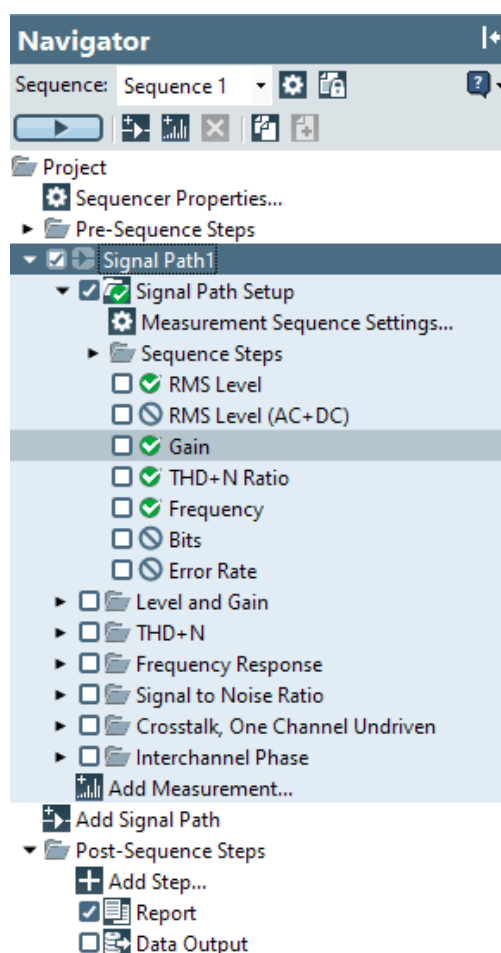


**Obr. 2 Nastavení generátoru v programu APx500**

## 3. AUTOMATIZACE MĚŘENÍ

### 3.1 Sequence Mode v programu APx500

Uvnitř každého projektu lze vytvořit jednu či více sekvencí, které budou v projektu vykonávány. Sequencer je rozhraní umožňující automatické vykonání úkolů projektu, které jsou zahrnuty uvnitř dané sekvence. Ovládání sekvence se nachází v navigačním panelu Navigator v levé části obrazovky. V navigátoru jsou jednotlivé kroky sekvence uspořádány do skupin a podskupin, ve kterých lze nastavit požadované parametry měření. Aby byl daný krok po spuštění sekvence proveden, je nutné jej povolit označením políčka nalevo od názvu daného kroku. Kroky sekvence v navigačním panelu jsou uspořádány podle stromové topologie, takže povolení nebo zakázání skupiny kroků v sekvenci rozhodne o provedení všech kroků měření uvnitř této skupiny.



Obr. 3 Navigační panel Navigator v programu APx500

### 3.1.1 Sequencer Properties

Prvním krokem jsou Sequencer Properties. Jejich hlavními přednostmi jsou nastavení zpoždění sekvence a povolení různých kroků podmíněných hodnotami na Aux Control In. Ten po přijetí příkazu z externího hardwarového příslušenství (například zmáčknutí jednoduchého tlačítka) může opakovat sekvenci, pokud dojde k selhání měření. [2]

### 3.1.2 Pre-Sequence Steps

Pre-Sequence Steps umožňují před započítím sekvence vložit kroky, jako je výzva k odpovědi od uživatele podmiňující započítí sekvence, zpoždění, vložení externího programu uloženého na disku v daném počítači, nebo vyslání příkazu na externí zařízení přes Aux Control Out určitým nastavením 8 bitů na D-Sub konektoru. Tyto kroky nejsou nutné pro fungování sekvence.

### 3.1.3 Signal Path

Signal Path obsahuje hlavní část sekvence, do které se přidávají jednotlivá měření. Je nutné mít povoleno každé měření v sekvenci, které je třeba provést. Výchozí projekt nabízí několik měření základních parametrů jako je efektivní úroveň, zesílení, harmonické zkreslení, kmitočtová odezva, odstup signálu od šumu, přeslechy a fáze mezi kanály. Tyto vlastnosti se v praxi měří velmi často a jsou zde vloženy, aby uživatel nemusel od začátku definovat měření, ale pouze nastavit jeho parametry v sekci Measurements. Samozřejmě lze však tato měření odebrat a přidat nové z nabídky, či přemístit jejich pořadí v sekvenci.

### 3.1.4 Post-Sequence Steps

Post-Sequence Steps provádí úkony po dokončení hlavního měření, a kromě toho, že nabízí stejné možnosti jako Pre-Sequence Steps, obsahuje ještě dva další kroky, a to Report a Data Output. Report je krok, který po dokončení sekvence vytvoří zprávu ve formátu .pdf kterou, lze uložit a použít pro dokumentaci měření. Data Output po nastavení adresáře a názvu souboru uloží data ve formátu .csv, který umožňuje další manipulaci s výsledky měření, což je obzvlášť užitečné v případě velkého množství výsledných hodnot.

### 3.1.5 Spouštění sekvence

Celá sekvence se spustí tlačítkem Run v navigátoru. Po spuštění se objeví dialogové okno informující uživatele o průběhu měření. V tomto okně se nachází i tlačítko Cancel, kterým se sekvence měření přeruší, aniž by byla ztracena data z již provedených kroků. V případě nutnosti je u některých typu měření, jako je například Frequency Response, možné spustit provedení pouze daného kroku bez jakékoliv interakce se zbytkem sekvence. Toto se provede pomocí tlačítka Start, které se nachází v části Measurements.

## 3.2 Automatizace měření pomocí prostředí LabVIEW

### 3.2.1 LabVIEW

LabVIEW je programovací software, který nepracuje s napsaným kódem uživatele, ale obrázkovými ikonami, které jsou někdy označovány bloky. Projekty s programy se zde nazývají Virtual Instruments. Každý virtuální nástroj obsahuje alespoň dvě hlavní vývojová prostředí. První prostředím je Front Panel, který slouží pro vložení následnou a manipulaci s prvky určených k zadávání, či přímé ovládání parametrů funkcí. Stejně tak jsou zde vkládány prvky pro zobrazení výsledků. Lze si ho představit jako skutečný přední panel nějakého laboratorního zařízení, který může obsahovat například tlačítka, nebo displej. Tyto prvky mají využití buďto těsně před spuštěním konečného programu, pokud byl vytvořen pro automatické použití, nebo až po spuštění, pokud vyžaduje manuální ovládání. Druhé prostředí se nazývá Block Diagram a v něm je realizováno programování pomocí ikon. Tyto ikony se označují jako Functions a reprezentují úkony, které jsou v určité posloupnosti vykonány, po spuštění konečného programu. Posloupnost funkcí je určena uživatelem a lze jí zcela přizpůsobit, je ovšem nutné, aby jednotlivé funkce měly splněny určitá kritéria, jako může být například napojení na ovládací prvek funkce, aby mohl konečný program správně fungovat. [9]

### 3.2.2 Instalace ovladačů APx do LabVIEW

Aby bylo možné využívat prostředí LabVIEW při práci s analyzátory Audio Precision, je nutné mezi nimi zprostředkovat komunikaci. Toho je možné dosáhnout pomocí dvou na sobě nezávislých instalačních balíčků, které lze stáhnout z oficiálních stránek Audio Precision [www.ap.com](http://www.ap.com), opět pod záložkou audio software. Nachází se pod kategorií API Development Files pro rodinu produktů APx Analyzers. Je důležité zmínit, že ne všechny software má plnou podporu pro všechny operační systémy. V rámci praktické části této práce, byl na počítač s operačním systémem Windows 7 Service Pack 1 nainstalován LabVIEW verze 2016.

První balíček se jmenuje „APx LabVIEW .NET Driver“. Tento balíček nainstaluje do LabVIEW nástroje k posílání příkazu a ovládání programu APx500. Výhoda takového řízení spočívá v tom, že Labview má mnohem více nastavení a umožňuje vytvářet složitější operace. Po instalaci jsou mezi nástroje uvnitř programovacího prostředí LabVIEW přidány nástroje APx, které se chovají jako tzv. Virtual Instruments (VI). Tyto virtuální nástroje obsahují funkce přístupující k aplikačnímu programovacímu rozhraní (API) programu APx500. Využívají tak měřicí program APx500 jako prostředníka při komunikaci s analyzátozem a pro své fungování vyžadují, aby byl program APx500 zapnutý. Po dokončení instalace jsou tyto nástroje shromážděny ve složce „Audio Precision APx .NET“. Tato složka je však uložena ve špatném adresáři, tedy ve „instr.lib“ nacházejícím se uvnitř složky LabVIEW 2015. Ta byla vytvořena uvnitř adresáře „LabView“, který jsme zvolili při instalaci samotného LabVIEW 2016. Pro používání těchto Virtualních nástrojů je nutné složku „Audio Precision APx .NET“ přenést do adresáře „instr.lib“, který se nachází přímo v adresáři, kam bylo nainstalováno LabVIEW.

Druhým balíčkem, který lze použít, je „APx LabVIEW DAQ Driver (for APx515 only)“. Jak už název napovídá, tento ovladač lze používat pouze s analyzátozem typu APx515. Ovladač během instalace zprostředkuje komunikaci s analyzátozem přímo, aniž by LabVIEW využívalo měřicí program APx500, nebo Aplikačního prostředí APx. Po instalaci je do programu LabVIEW vložena knihovna nástrojů, které využívají zmíněné komunikace. [3]

### **3.3 Automatizace měření pomocí jazyka Visual Basic for Applications**

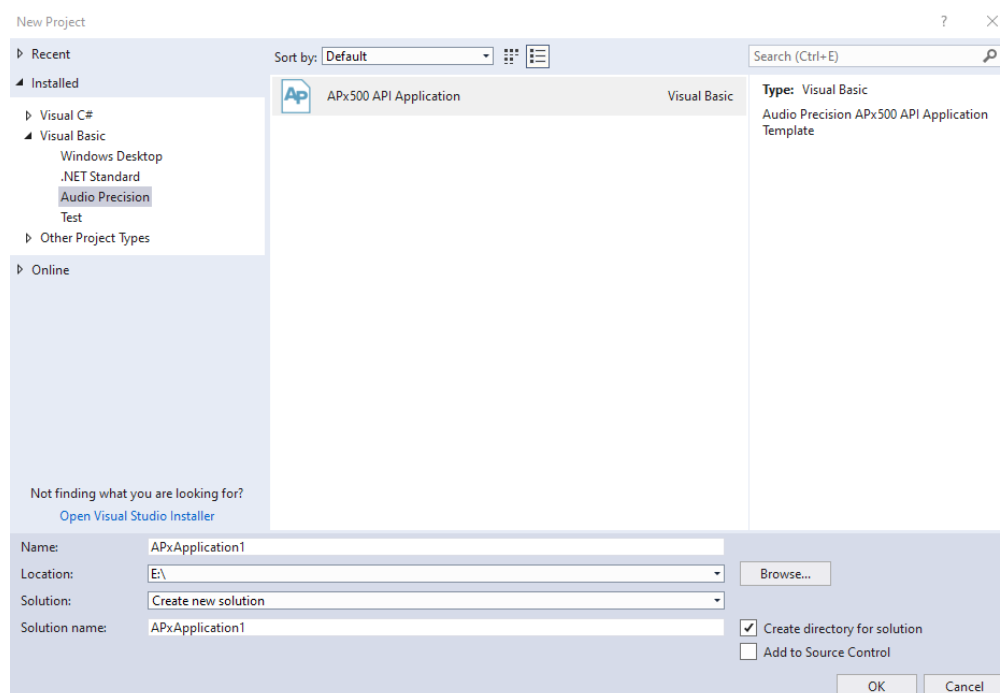
#### **3.3.1 VBA**

Visual Basic for Applications je programovací jazyk, jehož jádro Visual Basic je od verze 6.0 součástí aplikací instalačního balíčku Microsoft Office. VBA obsahuje mnoho možností při algoritmizaci a stejně tak jako jiné programovací jazyky umožňuje vytvářet cykly, pracovat s různými proměnnými a provádět matematické a logické operace. Jeho hlavní výhodou je však již zmíněná implementace do aplikací Microsoft Office. To umožňuje rozsáhlé možnosti zautomatizování práce v dobře známém prostředí jako je Microsoft Excel, které je dnes velmi oblíbené v profesionálním využití, a to především kvůli snadné a přehledné práci s prakticky neomezeným množstvím hodnot. Kromě využití tohoto jazyka v aplikacích jako je Excel a Word, je možné vytvářet programy využívající tento jazyk v dalších produktech firmy Microsoft, jakým je právě Visual Studio. Psaní programu v jazyce Visual Basic for Applications je pro práci s analyzátozem APx možné provádět v obou aplikacích (Excel i Visual Studio), a to díky tomu, že oba mohou využívat aplikačnímu prostředí APx. [4]

### 3.3.2 Propojení Visual Studia s programem APx500

Psaní měřicího programu pro Visual Basic for Applications je možné přes program Visual Studio, po instalaci API. To lze získat stažením .zip souboru, ze stránek ap.com, s názvem „APx API Developer Tools“, nacházející se pod kategorií Audio API Development Files. Pro správné fungování veškerého softwaru je doporučeno instalovat stejnou nebo podobnou verzi, jako je verze měřicího programu APx500, v tomto případě verze 5.0. Po stažení lze v adresáři „VisualStudioExtensionSetup“ nalézt soubor .exe pojmenován „APx500VisualStudioExtensionSetup“. Ten slouží k instalaci API přímo do Visual Studia, avšak nelze ho naistalovat pro všechny verze, proto byla při praktické zkoušce použita verze Visual Studio Enterprise 2017.

Po spuštění Visual Studia je při vytváření nového projektu nutné otevřít v levé části okna složku „Visual Basic“ a v ní umístěnou záložku „Audio Precision“, poté se z prostřední části okna vybere „APx500 API Application“. Tento postup přidá do vytvořeného projektu reference na aplikační prostředí, což zajistí fungování příkazů specifických pro APx500. Tento nový projekt je tvořen několika moduly, které lze vidět v okně Solution Explorer. V něm se nachází i hlavní modul pro programování APx500, který je označen APxMainForm.vb. Tento modul v sobě již obsahuje základní kód, který po svém spuštění otevře měřicí program APx500. Po zastavení debuggování (Stop Debugging) kódu se program APx500 opět zavře. [6]



Obr. 4 Vytváření Visual Basic projektu s přístupem k APx API

### 3.3.3 Propojení Excelu s programem APx500

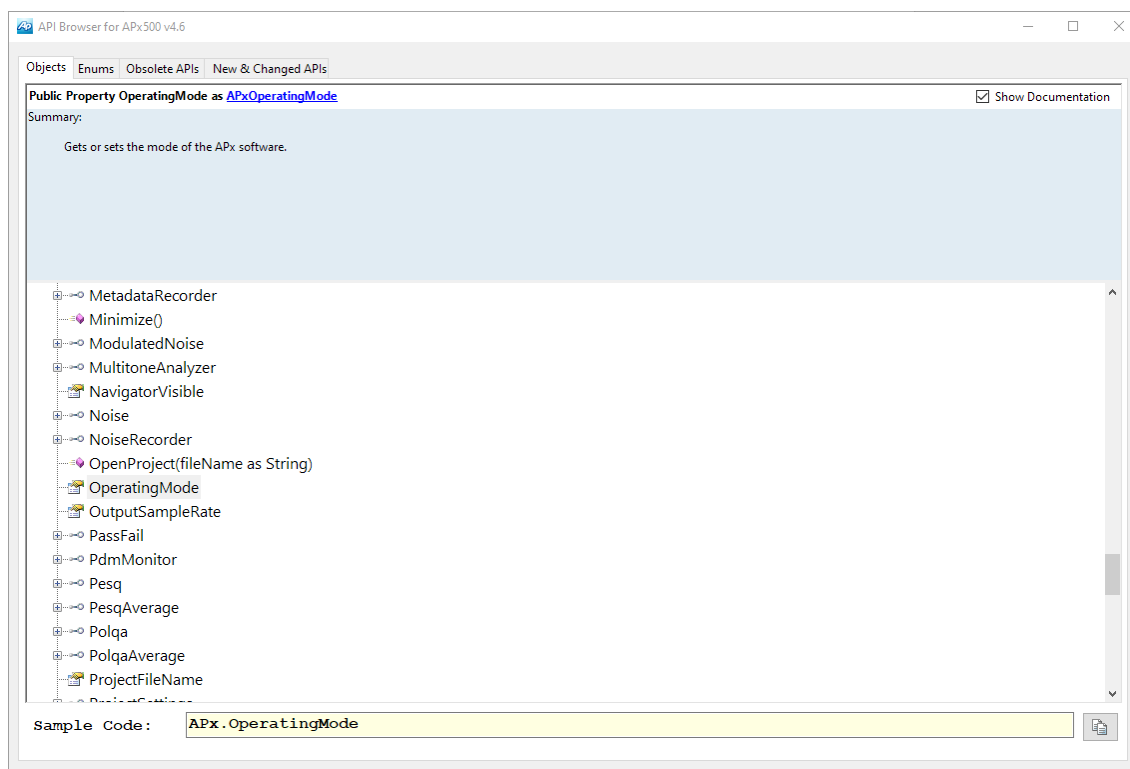
Pokud chce uživatel používat analyzátor APx s využitím Visual Basic přímo v aplikacích jako je Microsoft Excel, je nutné provést nastavení Excelu pro využívání aplikačních prostředí APx. Nejprve je nutné povolit užívání Visual Basicu v Excelu. To se provede v tak, že v možnostech Excelu se přizpůsobí pás karet a povolí se karta Vývojář. Tímto je karta přidána do nástrojové lišty Excelu v horní části obrazovky a uživatel s ní může nyní pracovat. V kartě Vývojář nalezne uživatel jako první položku Visual Basic, která otevře okno pro programování ve Visual Basic for Applications. V tomto okně je nutné přidat reference na APx API pro daný projekt excelu. To se provede v nabídce „References...“, která se otevře přes záložku Tools v nástrojové liště VBA okna. V nabídce referencí je nutné mít povoleno „Audio Precision APx500 API COM Wrapper“. Pokud zde tato reference vypsána není, přidá se kliknutím na „Browse...“ a otevřením souboru „AudioPrecision.API3.tlb“, který se nachází v adresáři „C:\Program Files\Audio Precision\APx500 5.0\API“. Na některých počítačích tento postup však nestačí a po jeho provedení není komunikace mezi APx500 a Excelem zajištěna. V takovém případě je nutné spustit software APx500\_API\_COM\_InteropSetup\_4.6.0, který je přiložený k této práci. Tento Software je dostupný pouze kontaktováním technické podpory Audio Precision. Je nutné také dodat, že toto řešení pracuje pouze s verzí 4.6 měřicího software APx500, proto je nutné mít tuto verzi nainstalovanou před spuštěním příloženého souboru, bude to právě verze 4.6 která bude v tomto případě používána. Po spuštění softwaru je provedena instalace knihoven Audio Precision.API3.dll a v nabídce references Visual Basic v Excelu by již kromě „Audio Precision APx500 API COM Wrapper“, měla přibýt Reference „Audio Precision APx500 API“. Pokud se zde tato Reference nenachází, měla by být k nalezení v adresáři „C:\Program Files\Audio Precision\APx500 5.0“ jako soubor „AudioPrecision.API3.tlb“. Pro správné fungování API je nutné mít povolené obě reference. Kód pro ovládání programu APx500 se ve Visual Basic for Application píše do modulu, ten se přidá do projektu příkazem Insert buďto v nástrojové liště, nebo v průzkumníku Project Explorer. [5]

### 3.3.4 API Browser

Při psaní kódu uživatel potřebuje znát příkazy specifické pro využívání aplikačního prostředí APx. S těmito příkazy se lze seznámit pomocí nástrojem „API Browser for APx500“, který je do počítače nainstalován spolu s měřícím programem APx500 a aplikačním prostředím. Nástroj slouží k prohlížení aplikačních prostředí a jejich popisu. Graficky je rozdělen do čtyř částí. V horní části jsou umístěny čtyři záložky, přičemž nejdůležitější jsou záložky Objects a Enum, obsahující databázi objektů a výčtů. Pod záložkami se nachází dokumentace právě vybraného objektu a v některých případech hypertextový odkaz na seznam platných výčtů pro daný objekt. Níže se nachází seznam



objektů uspořádaný podle stromové topologie. Názvy objektů odpovídají typům úkonů, či přímo názvům měření. Tento prohlížeč nemá textové pole pro vyhledávání, příkazy se zde vyhledávají pouze psaním na klávesnici, a to jen mezi příkazy v otevřených skupinách. V dolní části se nachází pole se vzorkem kódu, který lze zkopírovat a následně upravit pro použití v program využívající jazyk Visual Basic. Nachází se zde i tlačítko pro přímé zkopírování kódu, to ale nefunguje vždy správně a může zkopírovat kód s chybami, proto je spolehlivější kód přepsat, nebo ho zkopírovat přímo jeho označením.



Obr. 5 Uživatelské rozhraní API Browser

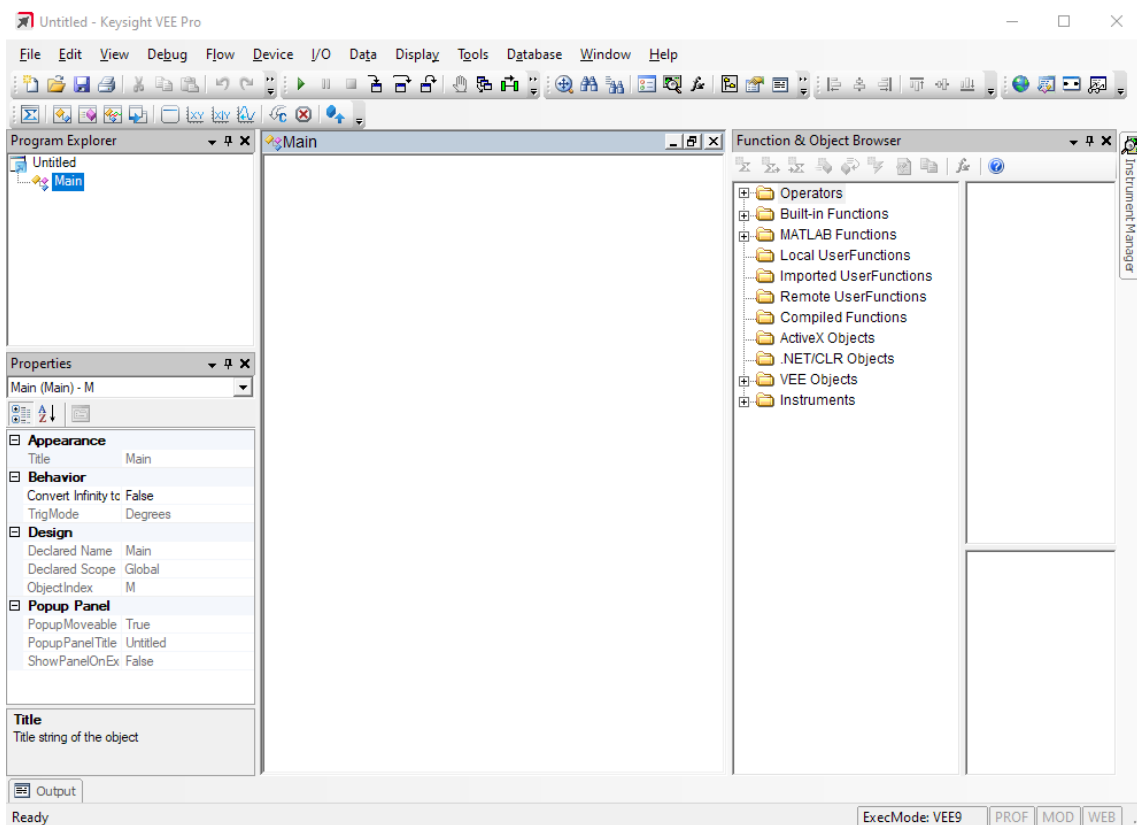
Užívání tohoto prohlížeče lze demonstrovat na případě, kdy chceme, aby uživatelem napsaný program ve Visual Studiu přepnul program APx500 do režimu Sequence. V prohlížeči API se najde objekt pod příkazem OperatingMode, jehož vzorek kódu je „APx.OperatingMode“. K tomuto objektu se pak zvolí výčet „SequenceMode“, kterou lze nalézt pod APxOperatingMode v záložce Enum. Tyto dva kódy se následně použijí v modulu APxMainForm.vb ve Visual Studiu. Celý příkaz je nutné doplnit tečkou mezi objektem a hodnotou a přiložit k deklaraci proměnné, v tomto případě pojmenované sekvenční\_rezim, která je definována jako volání APx500. Konečný kód použitý v modulu APxMainForm.vb vypadá po vykonání tohoto postupu takto:

```
Dim sekvenční_rezim As New APx500(APxOperatingMode.SequenceMode) [6]
```

## 3.4 Automatizace měření pomocí prostředí VEE

### 3.4.1 VEE

Visual Engineering Environment (zkráceně VEE) je grafické programovací prostředí podobné tomu v LabVIEW. Prostor byl původně vyvinuto firmou Hewlett-Packard, avšak dnes je poskytováno firmou Keysight. VEE slouží k automatizaci měření s využitím programování pomocí bloků, které reprezentují funkce a přístroje. Měřicí programy vytvořené ve VEE využívají funkcí k řízení přístrojů, k přijímání dat z přístrojů a k dalšímu zpracování těchto přijatých dat. Hlavní programovací okno ve VEE má název Main a je umístěno uprostřed uživatelského rozhraní programu. Toto okno slouží jak pro umístění a práci s funkcemi (například logické a matematické operace), tak i pro umístění ovládacích a zobrazovacích prvků (například potenciometr a displej). Tímto se významně odlišuje od LabVIEW, které mělo pro tyto dva odlišné typy objektů dvě oddělené plochy. Program vytvářený v tomto okně lze přirovnat k měření, kdy jsou přístroje rozděleny na jednotlivé díly a obvody, a mezi sebou propojovány kabely či vodiči. Takovéto spojení prvků je nutné i ve VEE a je zde zobrazeno rovnými spojovacími čarami, které se připojují k vstupním a výstupním bodům funkcí. Spojové čáry se označují jako Line a zobrazují posloupnost kroků v programu. Vstupní a výstupní body se zde (stejně jako v LabVIEW) nazývají Terminal, a přidávají se do bloku pravým kliknutím na blok objektu a výběrem Add Terminal. Tyto body se nacházejí na hranách bloků reprezentujících funkce a mají vzhled malých černých obdélníků. Vkládání objektů do programovacího okna Main se provádí přes průzkumník funkcí „Function & Object Browser“. Během práce VEE s analyzátořem se používají speciální funkce využívající aplikační prostředí APx. To vyžaduje, aby byl měřicí program APx500 zapnutý během spuštění vytvořeného měřicího programu ve VEE, pokud by program měl využívat analyzátoř. [7]



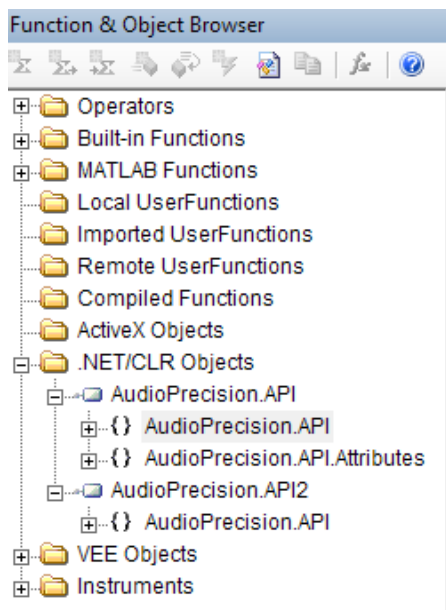
Obr. 6 Úvodní obrazovka prostředí VEE

### 3.4.2 Propojení prostředí VEE s programem APx500

Pro fungování programu VEE s analyzátozem APx je nutné získat a nainstalovat program VEE Pro. Ten je ke stažení ze stránek Keysight.com pod záložkou Software. Odkaz na VEE Pro se nachází ve složce Programming Environment Software. Před instalací VEE Pro je nutné stáhnout a nainstalovat Keysight IO Libraries Suite. Pro správné fungování VEE specificky vyžaduje verzi 2018 nebo novější. Instalační soubor IO Libraries Suite lze nalézt opět na internetových stránkách keysight.com, pod záložkou Software, ve složce Productivity Software. Tato instalace obsahuje knihovny pro práci s různými přístroji připojenými k počítači, zprostředkováním komunikace mezi nimi. Pokud by tyto knihovny nebyly součástí systému, je na ně uživatel upozorněn při instalaci VEE.

Po instalaci IO Libraries Suite je možné nainstalovat VEE Pro. Při praktické zkoušce byla použita verze 9.33. Aby mohl program VEE používat aplikační prostředí APx, je nutné přidat na něj reference. To se provádí přímo v programu VEE po jeho zapnutí. V záložce Device v nástrojové liště se nachází možnost „NET Assembly References...“, která vede do nabídky prostředí, vyvinutých na platformě .NET. Požadované aplikační

prostředí není v nabídce referencí, je proto nutné manuálně přidat adresu v počítači. Zde k tomu poslouží tlačítko „Browse...“. Aplikační prostředí APx je opět ve složce, kde byl nainstalován měřicí program APx500, tedy při výchozí instalaci je adresa složky „C:\Program Files\Audio Precision\APx500 5.0\API“. Ve složce API se zvolí soubory „AudioPrecision.API.dll“ a „AudioPrecision.API2.dll“. Tento postup má za výsledek přidání funkcí pro ovládání analyzátoru. Tyto funkce lze nalézt ve složce .NET/CLR Objects v průzkumníku Function & Object Browser, přímo v programu VEE. [8]



**Obr. 7** Prohlížeč funkce a objektu s nástroji pro práci s APx API

## 4. VYTVÁŘENÍ MĚŘÍCIHO PROJEKTU V PROSTŘEDÍ LABVIEW

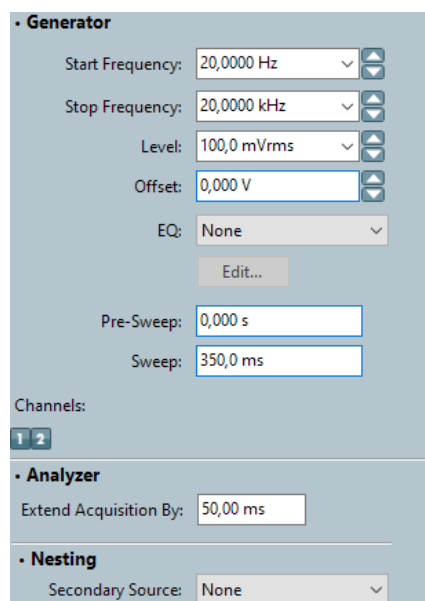
### 4.1 Měření typu Frequency Response

#### 4.1.1 Úvod k měření kmitočtové charakteristiky

Kmitočtová charakteristika, nebo také odezva, se měří přenos napětí závislého na kmitočtu. Měřícím signálem je logaritmicky přeladňovaný harmonický signál (Sweep), vyslaný z generátoru na vstup přípravku. Ten projde přípravkem na jeho výstup a signál z něj je následně přijat analyzátozem. Z tohoto přijatého signálu je zjištěna kmitočtová odezva přípravku. Tato odezva uživateli řekne, s jakým zesílením bude signál určitého kmitočtu přenesen ze vstupu přípravku na jeho výstup. Zesílení se většinou uvádí jako logaritmický poměr výstupní a vstupní hodnoty. Pro výpočet zesílení napětí se používá tento vzorec:

$$G = 20 \cdot \log_{10} \frac{V_{out}}{V_{in}} [\text{dB}], \quad (4.1)$$

kde  $G$  je zesílení,  $V_{in}$  je vstupní napětí do přípravku a  $V_{out}$  je výstupní napětí z přípravku. APx500 nabízí nastavení parametrů generátoru. Umožňuje omezení kmitočtového rozsahu, nastavení efektivní úrovně napětí, stejnosměrnou složku, ekvalizaci a dobu generování signálu „Sweep“ a „Pre-Sweep“. K tomu umožňuje určit dobu analýzy, zvolit sekundární zdroj signálu.



Obr. 8 Nastavení měření Frequency Response

### 4.1.2 Příprava měření kmitočtové charakteristiky

K přípravě měření přenosové kmitočtové charakteristiky stačí pouze propojit výstupní kanál analyzátoru se vstupem měřeného přípravku a jeho výstup poté propojit s vstupem již použitého kanálu analyzátoru. Je však důležité používat k propojení správné kabely, tedy například ze symetrického výstupního konektoru XLR na analyzátoru vést symetrickým kabelem signál do symetrického vstupu přípravku.

## 4.2 Vytváření nového virtuálního nástroje

Po zapnutí LabVIEW se objeví úvodní okno. Na pravé straně lze vidět existující projekty a na levé lze vidět nabídku pro vytvoření buďto nového prázdného (Blank) projektu, nebo pouze nového prázdného virtuálního nástroje. Také je zde tlačítko k vytvoření (Create) projektu, které nabízí více možností, ty ovšem nejsou v tomto případě nutné. Po vytvoření prázdného projektu se objeví podobné okno. V nástrojové liště se nachází v záložce File možnost New VI, která v projektu vytvoří nový virtuální nástroj a zobrazí okna Front Panel a Block Diagram, jejichž účel je popsán výše. Pokud se tato okna neotevřou sama, stačí je přes záložku Window zobrazit pomocí příkazu Show Front Panel nebo Show Block Diagram. Je také dobré ukládat Projekt přímo do složky „Audio Precision APx .NET“, aby se předešlo chybám při běhu programu. Virtuální nástroj VI je také nutné ukládat.

## 4.3 Základní zákonitosti při vytváření programu v LabVIEW

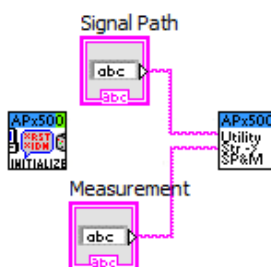
V blokovém diagramu se v nabídce functions, kterou lze otevřít také pravým kliknutím na prázdnou pracovní plochu, vybere záložka Instrument I/O. Tam se nachází složka Instr Drivers, ve které je již dříve nainstalovaná složka APx500 s funkcemi pro ovládání měřicího programu APx500 a analyzátoru. Z této složky bude vybírána většina použitých funkcí. Ve funkcích je možné snadno vyhledávat, a proto není nutné podrobně popisovat umístění každé funkce v nabídce. Nicméně je nutné poznamenat, že vyhledávání pracuje s celými názvy funkcí, a nikoliv s jejich zkratkami, které jsou používány v nabídce funkcí. Kvůli tomu budou v tomto postupu uváděny celé názvy, pro snadnější vyhledávání. Měřicí program (VI) je nutné začít vložením funkce APx500 Open, která spustí měřicí program APx500.

Po přidání do blokového diagramu lze u každé funkce vidět po najetí myši různobarevné tečky na hranách každého bloku. Taková tečka reprezentuje vstupní, či výstupní bod funkce, který je v LabVIEW označován jako Terminal. Těmito terminály se v LabVIEW propojují funkce do posloupnosti, nebo lze na terminál přidat speciální bloky, jakými jsou ovládání (Control), indikátor (Indicator), nebo konstantní číslo (Constant). Přidání tohoto bloku se provede pravým kliknutím na daný terminál, což otevře kontextové menu, kde se nachází možnost Create. Přidáním takového bloku do Blokového diagramu dojde většinou i k přidání prvku na přední panel. Pokud ovšem daný

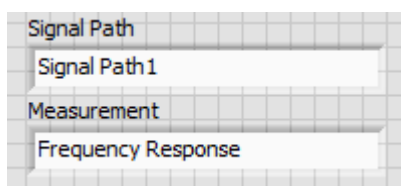
prvek není kompatibilní s daným terminálem, dojde k přidání prvku do blokového diagramu, který ovšem nebude s původním blokem funkce spojen. Aby funkce fungovala, nemusí být všechny terminály funkce osazeny prvky. Propojení funkcí je reprezentováno v blokovém diagramu pomocí rovných spojovacích čar, které propojují terminály daných bloků funkcí. Tyto spojové čáry jsou označovány jako Wire a lze je chápat jako vodič spojující obvod. Posloupnost bloků spojených čarami zobrazuje posloupnost kroků v programu. Pro větší přehlednost při vytváření programu je dobré umisťovat bloky v nějakém pořadí, jako například zleva doprava. LabVIEW nedovolí spustit program obsahující chybu, nebo pokud se v blokovém diagramu nachází funkce, která nemá osazené potřebné terminály.

## 4.4 Programování virtuálního nástroje pro měření kmitočtové charakteristiky

Po funkci Open se nutné přidat funkci Strings to Signal Path & Measurement, či podobnou. Tato funkce rozhoduje, které měření a jakou signálovou cestu uvnitř spuštěného projektu v APx500 LabVIEW využije. Pro tuto funkci je nutné vytvořit k jejím odděleným terminálům Signal Path a k Measurement, ovládací funkce opět pravým kliknutím na terminál a možností Create a Control. Stejnojmenná ovládání lze po přidání nalézt na předním panelu v podobě dvou textových polí, do kterých se vyplní příslušný název signálové cesty a měření.



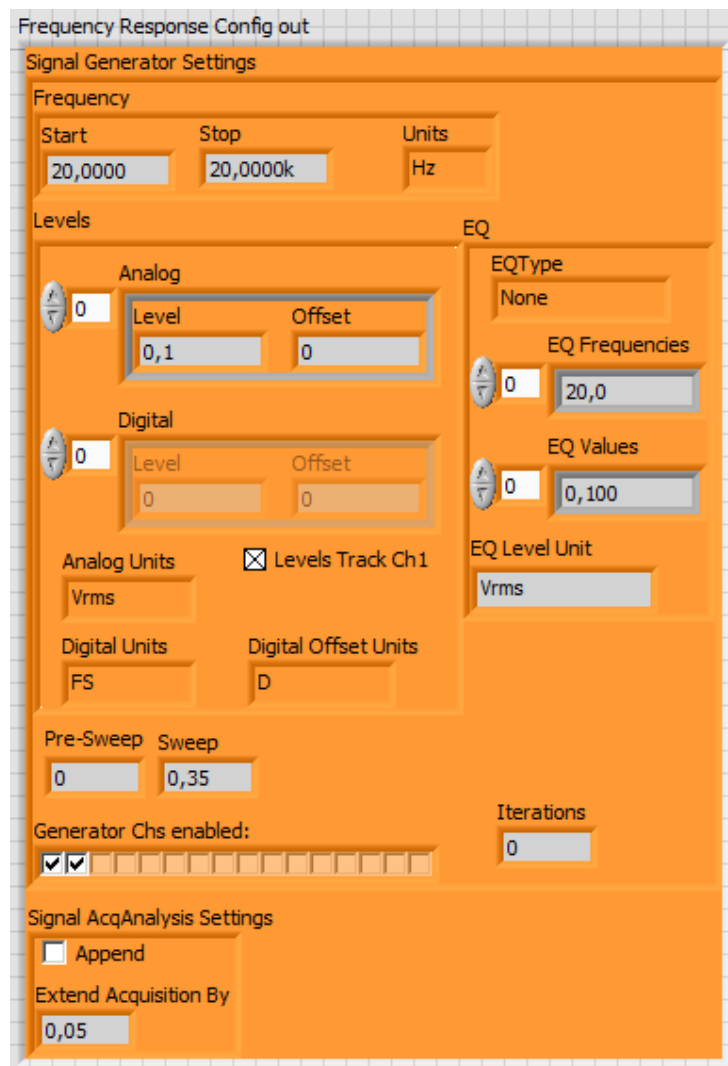
Obr. 9 Funkce Strings to Signal Path & Measurement s ovládacími bloky



Obr. 10 Vyplněná textová pole na předním panelu

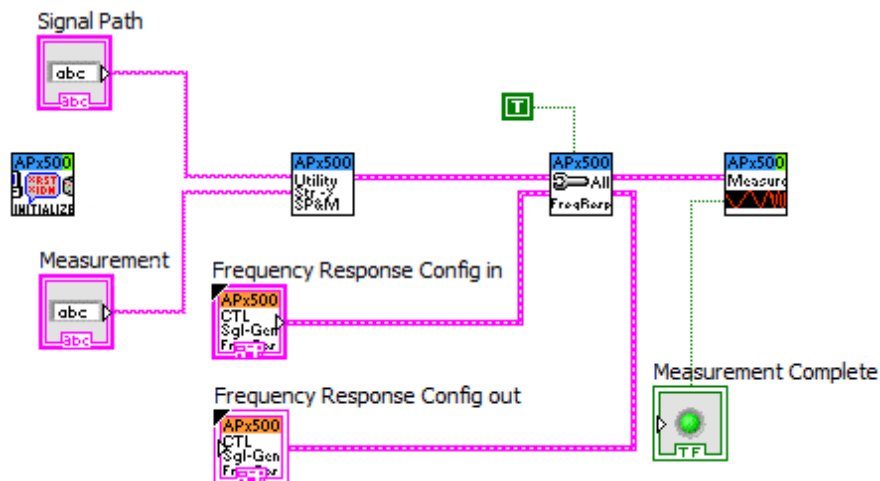






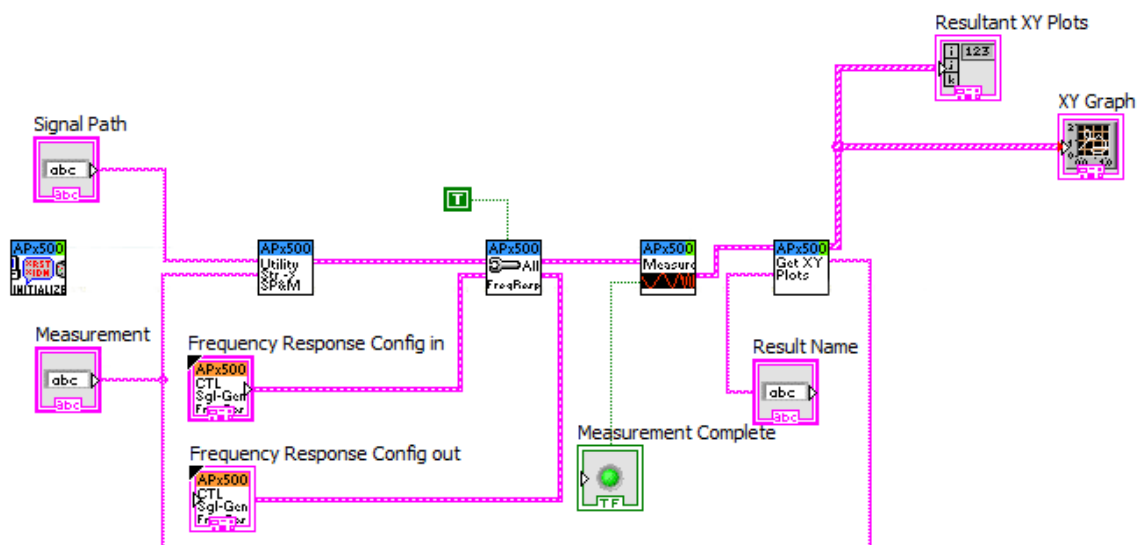
**Obr. 12 Prvek Frequency Response Config Out na předním panelu**

Následně se do posloupnosti přidá prvek pro provedení měření a zpracování výsledků měření. To je realizováno pomocí funkce Perform Measurement, u které je nutné napojit terminál SignalPath & Measurement in na výstupní terminál SignalPath & Measurement out na bloku Frequency Response GetSet All. Lze přidávat i další indikátory na různé funkce jako třeba kontrolku Measurement Complete pro ověření dokončení měření ze strany programu APx500 nebo výstupní indikátor SignalPath & Measurement out, který uživateli řekne, zda je vybráno správné měření.



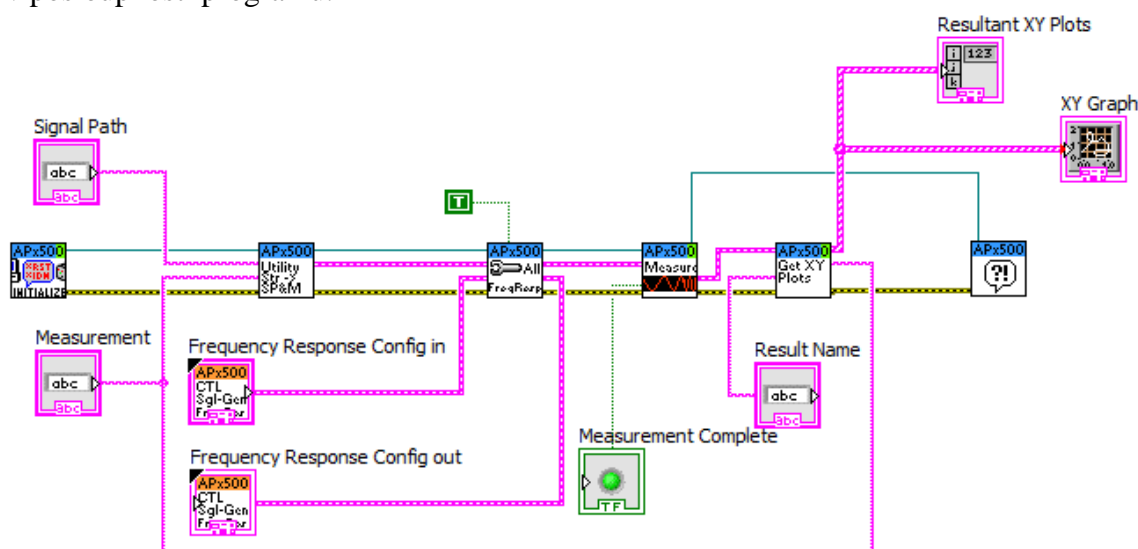
Obr. 13 Přidaná funkce Perform Measurement s indikátorem

Dále se přidá funkce Ger XY Plots from Measurement, která se propojí s funkcí Perform Measurement přes terminály Measurement Results na obou blocích. Funkce Get XY Plots from Measurement vyžaduje kromě toho znát název měření, to se realizuje paralelním připojením terminálu Measurement ke stejnojmennému textovému bloku již vyžaduje, neboť měření Frequency Response vytvoří několik výsledků jako je Gain a Relative Level. Pro výběr je nutné přidat ovládání na terminál Result Name. Nakonec k zobrazení těchto výsledků na předním panelu stačí osadit terminál Resultant XY Plots. K tomu lze přidat indikátor, který by zobrazoval přesnou hodnotu pro daný kmitočet. Pro zobrazení hodnot v grafu je nutné přidat prvek XY Graph na přední panel. Je důležité tento prvek nekládat do blokového diagramu. Přidáním na přední panel je prvek XY Graph přidán do blokového diagramu automaticky a lze ho opět napojit paralelně na terminál Resultant XY Plots.



Obr. 14 Přidaná funkce Get XY Plots from Measurement s příslušnými prvky

Je také dobré přidat do blokového digramu funkci APx Simple Error Handler pro přehlednější hlášení o chybách při spouštění programu v LabVIEW. Tato funkce se propojí spojením vstupů error in s výstupy error out předchozích funkcí v posloupnosti. Pro konečné fungování programu je nutné přidat jednotlivým funkcím .NET reference na aplikační prostředí. To se provede propojováním výstupních terminálů Reference out každého bloku funkce na vstupní terminál Reference in dalšího bloku funkce v posloupnosti programu.



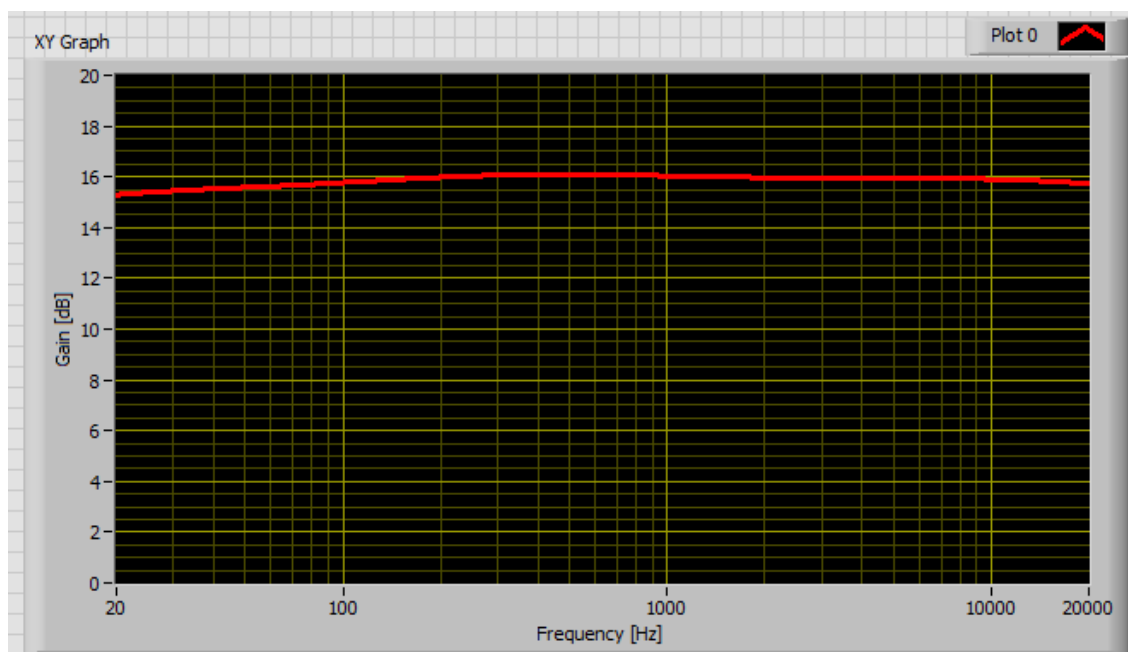
**Obr. 15 Konečný stav blokového diagramu vytvořeného programu**

Tímto se uživatel může přesunout z blokového diagramu na přední panel. Tam je nutné vyplnit textová pole SignalPath a Measurement. Při využívání výchozího projektu v „APx500 Signal Path 1“ a „Frequency Response“. Funkce rozlišuje malá a velká písmena, je proto nutné dodržovat přesné názvy. Dále se do textového pole Result Name napíše jméno výsledku například „Gain“. Pak stačí na generátoru nastavit požadované parametry signálu. Pro analogové měření je nutný počáteční a konečný kmitočet, výstupní úroveň napětí, doba trvání signálu sweep a výstupní kanál analyzátoru, na kterém je připojeno měřené zařízení.

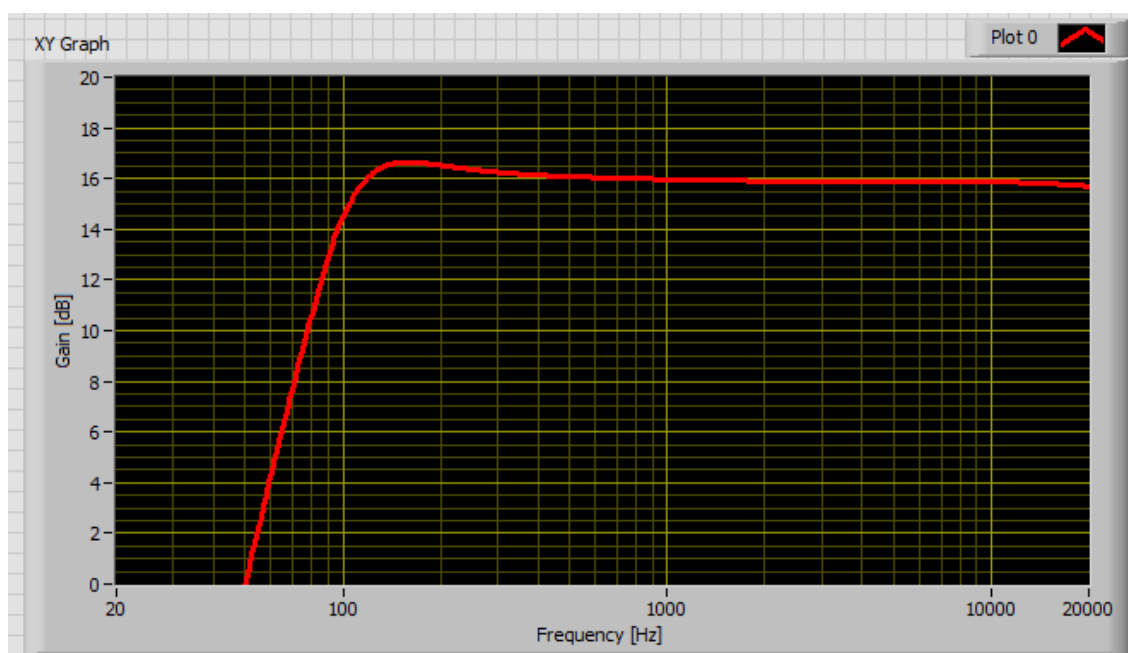
Nakonec se musí uživatel ujistit, že v programu APx500 je v signálové cestě měření, které chce provádět, případně ho musí vytvořit. Pro měření kmitočtové charakteristiky je ve výchozím projektu APx500 již přítomné měření Frequency Response. Pro zobrazení výsledné zprávy je nutné mít povolený krok Report v sekvenci APx500. Po vykonání tohoto postupu je možné program v LabVIEW spustit.

Při praktické zkoušce toho postupu byla měřena kmitočtová charakteristika přenosu mixážního pultu, konkrétně Behringer Eurorack MX2004A, a to s a bez využití filtru horní propusti s mezním kmitočtem 75 Hz. Vzhled grafu na předním panelu LabVIEW, jako jsou názvy jeho os či hodnoty, může uživatel volně upravovat ve vlastnostech grafu.





**Obr. 17 Graf v LabVIEW po změření přípravku bez kmitočtového filtru**



**Obr. 18 Graf v LabVIEW po změření přípravku s kmitočtovým filtrem**

## 5. VYTVÁŘENÍ MĚŘÍCIHO PROJEKTU V JAZYCE VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS

### 5.1 Měření typu Acoustic Response

#### 5.1.1 Úvod k akustické odezvě

Měření akustické odezvy je navrženo pro zjištění akustických vlastností reproduktoru či reproduktorové soustavy. Zahrnuje parametry a závislosti, jako je například měření harmonického zkreslení, různá zpoždění či kmitočtovou charakteristiku, a to modul i fázi. Po spuštění měření analyzátor začne generovat nastavený logaritmicky přeladovaný harmonický signál, označovaný jako sweep. Pokud není reproduktor opatřen výkonovým zesilovačem, je nutné použít zesilovač externí, který je obsažen například v rozhraní Transducer Interface APx1701. Výkonový zesilovač vybudí měřený reproduktor a výsledné změny akustického tlaku snímá kalibrovaný měřicí mikrofón. Výstup mikrofónního předzesilovače je připojen na vstup analyzátoru Audio Precision, který následně vyhodnotí výsledky měření. Je vhodné zmínit, že akustický tlak vytvořený reproduktorem nedorazí k mikrofónu okamžitě, ale s časovým zpožděním, které je závislé nejen na vzdálenosti, ale také na atmosférických podmínkách vzduchu, ve kterém se zvuk šíří. V praxi se ale většinou při teplotě 20 °C používá hodnota rychlosti zvuku  $c_0$  343 m/s. Zpoždění se pak určí ze vzorce:

$$t = c_0 \cdot s \text{ [s]}, \quad (5.1)$$

kde  $t$  je doba zpoždění,  $c_0$  rychlost zvuku a  $s$  je vzdálenost mezi reproduktorem a mikrofónem. Toto časové zpoždění přináší mnoho problémů, jako je rušení původního zvukového vlnění s vlněním odraženým od překážek. Pro řešení se využívá výsledků měření impulzní odezvy. Je důležité umístit mikrofón v takové vzdálenosti od reproduktoru, aby první odraz zvukové vlny dorazil k mikrofónu po skončení doby změřené impulzní odezvou.

Akustická odezva v sobě zahrnuje velké množství výsledků. Mnoho z nich je prakticky stejných, liší se pouze zobrazení hodnot v absolutní míře jako je  $V_{rms}$ , nebo poměrové jako jsou dB nebo %. Mezi nejběžnější měření patří již výše zmíněná kmitočtová charakteristika a harmonické zkreslení, jehož hodnoty jsou též závislé na kmitočtu. Modul kmitočtové charakteristiky je zobrazen ve výsledcích RMS Level, který udává efektivní hodnotu napětí na vstupu analyzátoru, a také Relative Level, který toto napětí udává v logaritmickém poměru k hodnotě napětí při kmitočtu 1 kHz. Tento poměr dvou hodnot napětí lze získat výpočtem:

$$L = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{U_{rms}}{U_{rms1}} \right) [\text{dB}], \quad (5.2)$$

kde  $L$  je relativní hladina napětí,  $U_{rms}$  je efektivní hodnota napětí při daném kmitočtu a  $U_{rms1}$  je efektivní hodnota napětí při kmitočtu 1 kHz. Fáze kmitočtové charakteristiky je zobrazena ve výsledku Phase. Ten zobrazuje hodnoty fázového zpoždění ve stupních ( $^{\circ}$ ) v různých relativních poměrech. Výchozí zobrazení fáze zobrazuje hodnoty výstupu kanálu 2 s fází relativní k výstupu kanálu jedna, a proto je důležité na tuto skutečnost pamatovat, pokud uživatel používá pouze jeden kanál. Pro jeden kanál je zpoždění rozdíl mezi vstupem a výstupem, tedy mezi reproduktorem a mikrofonem. Fázové zpoždění pro každý kmitočet je převedené z časového zpoždění signálu v poměru doby periody daného kmitočtu. K výpočtu fázového zpoždění lze použít tento vzorec:

$$\varphi = 360 \cdot \frac{\tau}{T} [^{\circ}], \quad (5.3)$$

kde  $\varphi$  je fáze,  $\tau$  je čas zpoždění signálu a  $T$  je perioda daného kmitočtu. Měření harmonického zkreslení je zobrazeno ve výsledcích Level and Distortion, THD Ratio a THD Level. Harmonické zkreslení je udáváno efektivními hodnotami napětí násobků daného kmitočtu (vyšších harmonických složek) při buzení reproduktoru daným kmitočtem, nebo je přímo v poměru k efektivní hodnotě napětí první harmonické složky. V reproduktoru vzniká například nelinearitami jeho mechanické soustavy. Pro výpočet celkového harmonického zkreslení lze použít vzorec:

$$THD = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2}} \cdot 100 \% [\%], \quad (5.4)$$

kde  $THD$  je celkové harmonické zkreslení,  $U_1$  je napětí fundamentu,  $U_2$  až  $U_n$  značí napětí vyšších harmonických složek. Program APx500 nabízí zobrazení hodnot celkového harmonického zkreslení v procentech, decibelech a efektivních hodnotách napětí, pro které je schopný odlišit také úroveň druhé a třetí harmonické složky.

### 5.1.2 Příprava měření Akustické odezvy

K přípravě měření je nutné propojit použitý výstupní kanál analyzátoru se vstupem na rozhraní APx1701. Výstup rozhraní bude propojen s reproduktorem, který by měl být umístěn ve vhodném akustickém prostředí, jakým je například bezodrazová komora. Ve vhodné pozici k reproduktoru bude umístěn měřicí mikrofon, jehož předzesilovač bude zapojen na vstup použitého kanálu analyzátoru. Rozhraní musí být propojeno s počítačem pomocí USB a zvoleno jako výstupní konektor v nastavení Signal Path Setup v programu APx500.

Poté se může přejít k nastavení měření. To bude v klasickém režimu „Closed Loop“. Program APx500 nabízí nastavení pro měření akustické odezvy pod dvěma hlavními skupinami. První je generátor, kde se nachází omezení kmitočtového rozsahu počátečním a konečným kmitočtem sweep signálu. Takovéto omezení je u některých reproduktorů nezbytné. APx500 dokáže budít a následně zpracovávat 2 různé kanály, pro které lze nastavit efektivní úroveň napětí i případně stejnosměrnou složku a ekvalizaci. Efektivní hodnotu napětí je důležité nastavit na nižší hodnoty, aby se zabránilo poškození reproduktoru a vyšším hodnotám zkreslení. Dále je zde nastavení trvání sweep signálu a doby „Pre Sweep“. Počet jednotlivých generovaných kmitočtů, a tím pádem rozlišení celého měření, roste s délkou trvání Sweep signálu. Doba trvání „Pre Sweep“ slouží ke stabilizaci měření, ale lze tento proces zcela vynechat. Druhou skupinou je analyzátor, který slouží ke zpracování výsledků dobou „Extend Acquisition“, která řeší některé problémy se zpožděním signálu mezi reproduktorem a mikrofonom. Dále zde může uživatel provést více měření, jejichž výsledky se poté zprůměrují. To je obzvlášť vhodné v případech, kdy je v měřicím prostředí přítomný hluk. Nakonec je zde možnost zvolit pro buzení reproduktoru sekundární zdroj signálu.

The screenshot displays the configuration window for an Acoustic Response measurement. At the top, there are checkboxes for 'Append Graph Data' and 'Open Loop'. The interface is organized into several sections:

- Generator**
  - Frequencies**: Start is set to 20,000 Hz and Stop is set to 20,000 kHz.
  - Levels**: 'Levels Track Ch1' is checked. A table shows settings for 'Sweep' and 'DC Offset' for 'Ch1': Sweep is 100,0 mVrms and DC Offset is 0,000 V. Below this, 'EQ' is set to 'None'.
  - Durations**: 'Pre-Sweep' is 0,000 s and 'Sweep' is 350,0 ms.
- Analyzer**
  - Signal Processing**: 'Extend Acquisition' is 500,0 ms and 'Averages' is 3.
  - A button labeled 'Mic Cal / dB SPL...' is present.
  - Nesting**: 'Secondary Source' is set to 'None'.

An 'Advanced Settings...' button is located at the bottom of the window.

Obr. 19 Nastavení měření Acoustic Response



## 5.2 Měření typu Impedance/Thiele-Small

### 5.2.1 Úvod k impedanci a Thiele-Smallovým parametrům

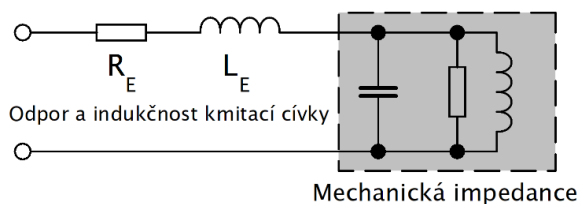
Toto měření slouží ke změření impedanční charakteristiky, která je nedílnou součástí při návrhu reproduktorové výhybky a později i celé reproduktorové soustavy. Impedanční charakteristika se určuje za pomoci logaritmicky přelad'ovaného harmonického signálu o konstantním napětí, kterým bude reproduktor buzen v požadovaném kmitočtovém pásmu. Hodnota impedance je vypočítána z elektrického napětí na reproduktoru a hodnoty elektrického proudu protékajícího reproduktorem při daném kmitočtu. Elektrický proud je vypočítán z napětí na snímacím rezistoru se známou hodnotou odporu. Pro výpočet impedance slouží vzorec:

$$\hat{Z} = \frac{\hat{U}}{\hat{I}} [\Omega], \quad (5.5)$$

kde  $\hat{Z}$  je impedance,  $\hat{U}$  je fázor napětí a  $\hat{I}$  je fázor proudu. Impedance je komplexní veličina, tudíž má svoji reálnou složku (odpor) a imaginární složku (reaktanci). Kromě modulu a fáze impedance je APx500 schopný určit také tyto dvě složky. Hodnota impedance je součtem těchto dvou složek:

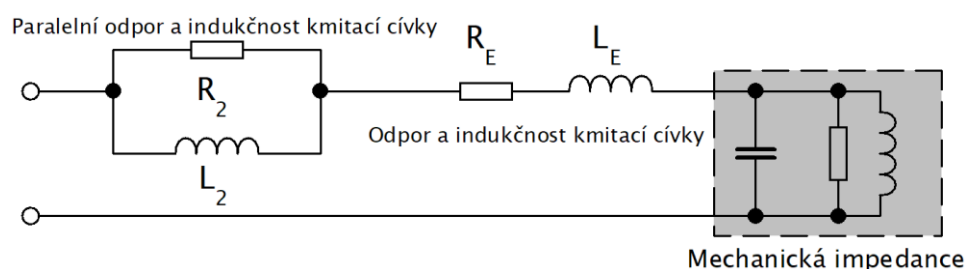
$$\hat{Z} = R + jX [\Omega], \quad (5.6)$$

kde  $R$  je odpor,  $j$  je imaginární jednotka a  $X$  je reaktance. Z průběhu impedanční charakteristiky jsou vypočítány Thiele-Smallovy parametry. Tyto parametry popisují elektrické, mechanické a akustické vlastnosti náhradního schématu reproduktoru pro malé úrovně signálu. První měření reproduktoru umožní určit pouze některé parametry. Při měření v APx500 je možné využít několika náhradních modelů reproduktoru, přičemž tyto modely obsahují různé elektrické součástky, a tudíž použití každého z nich vede k jiným typům výsledných parametrů. Všechny zahrnuté modely vedou k určení rezonančního kmitočtu  $F_S$ , elektrického  $Q_{ES}$ , mechanického  $Q_{MS}$  a celkového činitele jakosti  $Q_{TS}$  ploše membrány  $S_D$ , a odporu kmitací cívky  $R_E$ . Standardní model pak navíc obsahuje indukčnost kmitací cívky  $L_E$ . Tento model je nejjednodušší, avšak výsledky měření s tímto modelem nejsou na vyšších kmitočtech zcela spolehlivé.



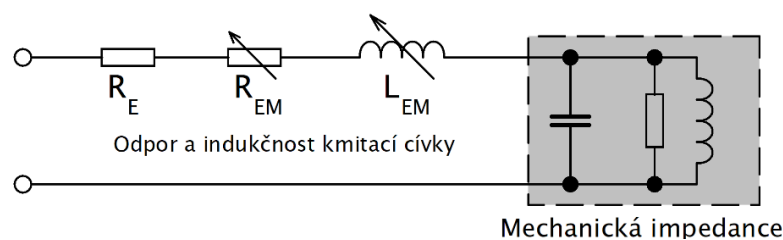
Obr. 20 Standardní náhradní model reproduktoru

Model LR-2 je doplněn o parametry indukčnosti  $L_E$ , a odporu rezistoru  $R_2$  s indukčností cívky  $R_2$ . Jeho výsledky jsou spolehlivější než u standardního modelu.



**Obr. 21 Náhradní model reproduktoru LR-2**

Wrightův model je doplněn exponentem motorického odporu  $E_{rm}$ , koeficientem motorického odporu  $K_{rm}$ , exponentem motorické reaktance  $E_{xm}$  a koeficientem motorické reaktance  $K_{xm}$ . Jeho výsledky jsou spolehlivé, ale mohou nastat situace, kdy ho nelze použít.

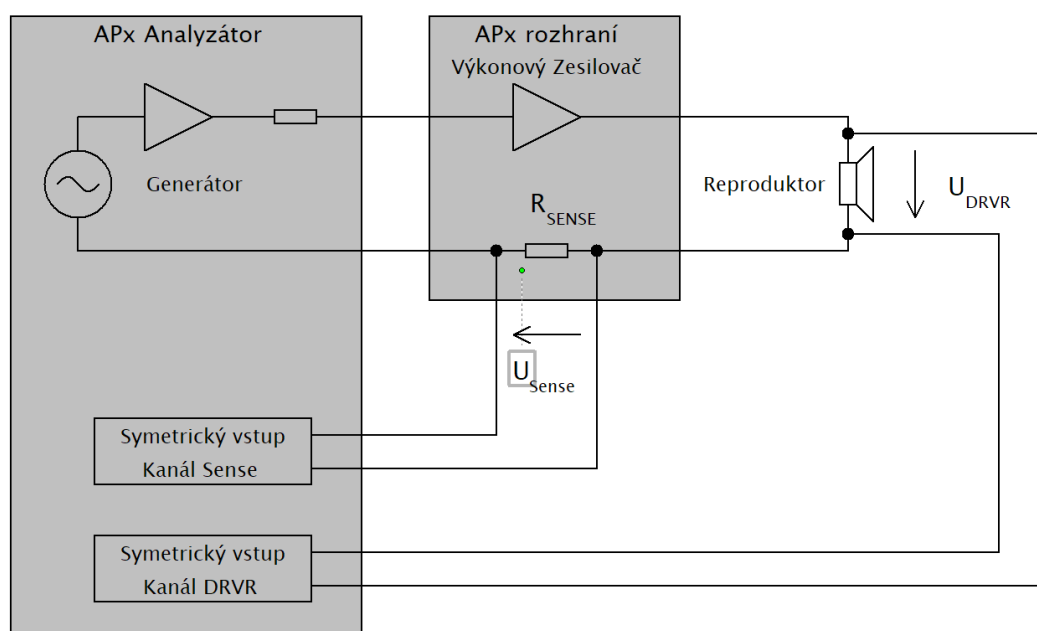


**Obr. 22 Wrightův náhradní model reproduktoru**

Mezi zbývající Thiele-Smallovy parametry patří mechanický odpor  $R_{MS}$ , poddajnost uchycení membrány  $C_{MS}$ , mechanická hmotnost kmitacího systému  $M_{MS}$ , ekvivalentní objem reproduktoru  $V_{AS}$ , silový faktor  $Bl$  a účinnost reproduktoru  $\eta_0$ . Výpočet zbylých parametrů je dosažen buďto zadáním hodnoty  $M_{MD}$ , která bude zohledněna při prvním měření, nebo provedením druhého měření umístěním reproduktoru do uzavřené ozvučnice se známým objemem, nebo přidáním známé hmotnosti na membránu reproduktoru.  $M_{MD}$  je označení pro hmotnost membrány. Měření impedance lze provádět v rámci nabídky APx500 za použití třech různých testovacích konfigurací a to External (1Ch), External (2 Ch) a Internal. Názvy jsou odvozeny podle řešení snímacího rezistoru. Konfigurace External (2 Ch) značí použití externího snímacího rezistoru mimo analyzátor a dvou kanálů analyzátoru. Jeden k určení napětí na rezistoru a druhý buďto k měření napětí na reproduktoru, nebo společného napětí na reproduktoru a rezistoru. Oproti tomu konfigurace External (1Ch) používá pouze kanál pro měření napětí na snímacím rezistoru a předpokládá použití cizího výkonového zesilovače a snímacího rezistoru, u nichž vyžaduje předem znát hodnoty odporu, zesílení a případně kmitočtovou závislost zesílení. Internal využívá interního snímacího rezistoru uvnitř analyzátoru, který je rovněž použit i k buzení reproduktoru. Je použitelná pouze při malých výkonech a není tak přesná jako ostatní konfigurace.

## 5.2.2 Příprava měření impedance

Tato práce se zabývá použitím testovací konfigurace External (2 Ch) s využitím rozhraní APx1701. Jak již bylo zmíněno konfigurace využívá použití dvou kanálů analyzátoru pro měření napětí na reproduktoru a na snímacím rezistoru. Buzení reproduktoru zajistí výkonový zesilovač, který se nachází uvnitř rozhraní APx1701. Snímací rezistor se také nachází v rozhraní a je sériově zapojen na výstup zesilovače, čímž je zajištěno, že proud tekoucí rezistorem je stejný jako proud tekoucí reproduktorem. Napětí na rezistoru je přivedeno na výstup rozhraní APx1701 označený „Current Sense“, který je nutné propojit se symetrickým vstupem dva na analyzátoru. Symetrický vstup jedna na analyzátoru se připojí paralelně k reproduktoru, aby mohlo být napětí na něm přesně určeno. Použití těchto kanálů nelze zaměnit, ani změnit v nastavení APx500, navíc funkce kanálu jedna je pro tuto testovací konfiguraci jiná, pokud je vstupní konfigurace APx500 nastavena na nesymetrické konektory. Generovaný signál „Sweep“ je veden z vybraného výstupu analyzátoru, většinou výstup jedna, a přiveden na vstup jedna na rozhraní.



Obr. 23 Schéma zapojení External (2 Ch) (bal)

Po propojení všech zařízení je možné přejít k nastavení měření. V tomto bodě se již předpokládá, že bylo provedeno nastavení vstupních a výstupních konektorů v Signal Path Setup. Nastavení měření Impedance/Thiele-Small je rozděleno na tři skupiny: Generator, Free-Air Impedance a Thiele-Small Parameters. První skupina nabízí klasické mezní kmitočty pro budící signál, jeho efektivní úroveň napětí a stejnosměrnou složku, výstupní kanál a dobu trvání budícího signálu „Sweep“, na které je závislá přesnost

výsledků. Druhá skupina nabízí pro vybranou testovací konfiguraci „External (2 Ch)“ výběr funkcí pro vstupní kanály analyzátoru, určení hodnoty snímacího rezistoru (která je pro rozhraní APx1701 pevně daná), určení průměru membrány reproduktoru a výběr modelu náhradního schéma. A navíc umožňuje předem zadat hodnotu stejnosměrného odporu cívky  $R_E$ , který je zde dále označován jako DCR. Dále lze zakázat určování T-S parametrů a upravit výsledné vykreslení křivky. Třetí skupina slouží k výběru a nastavení způsobu měření k určení ostatních T-S parametrů. V případě výběru přidané hmotnosti nebo známého objemu je tu přítomné další tlačítko pro druhé spuštění měření, které je nutné použít, pokud si má program APx500 zapamatovat původní hodnoty, a pak je s druhými porovnat.

**• Generator**

Start Frequency: 20,000 Hz

Stop Frequency: 20,000 kHz

Level: 100,0 mVrms

Offset: 0,000 V

Sweep: 1,000 s

Channels:

**Free-Air Impedance**

Test Configuration: External (2 Ch)

Channels (drv, sense): Ch1, Ch2

Sense R: 100,0 mohm

Driver Diameter: 15,000 cm

Model Fit: LR-2

Re: Auto

☒ Calculate TS Parameters

Curve Fit Range: Auto

**• Thiele-Small Parameters**

Mode: Added Mass

Added Mass: 10,000 g

**Measure**

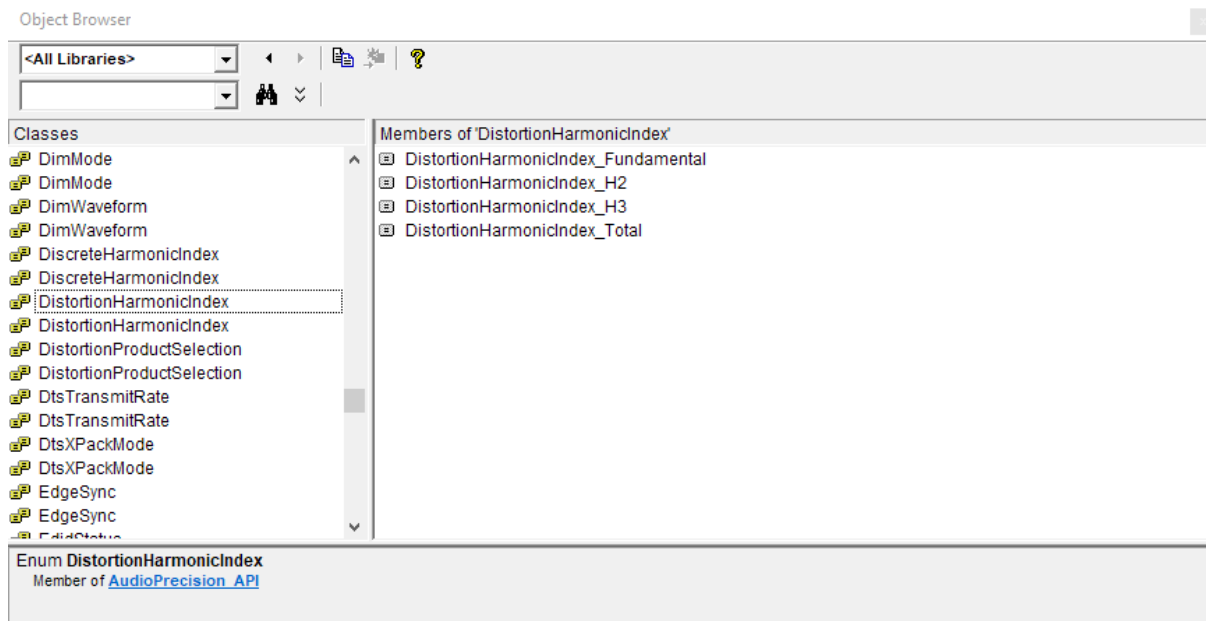
**Obr. 24** Nastavení měření Impedance/Thiele-Small

## 5.3 Vytváření nového měřicího projektu v aplikaci Excel

Cílem tohoto měřicího projektu je s využitím jazyka VBA vytvořit dokument v aplikaci Excel, jehož používání nahradí používání měřicího programu APx500. Je nutné, aby nový dokument měl ve vývojové prostředí VBA reference na APx API. Spouštění programu APx500 bývá časově náročné, a proto je vhodné, aby před spuštěním jakéhokoliv příkazu APx byl měřicí program spuštěn, a to jeho verze, na kterou se odkazují reference. Tento projekt byl vyvíjen pro verzi 4.6. Projekt v aplikaci Excel je navržen tak, aby obsahoval pro každý typ měření tři funkce, a to aktivování specifického typu měření, nastavení jeho parametrů a provedení měření. Popis vývoje měřicího projektu bude převážně demonstrován na měřeních Acoustic Response a Impedance/Thiele-Small. K této práci je přiložen soubor s dokumentem Excel, který obsahuje projekt k měření akustické odezvy, odstupu signálu od šumu a impedance s Thiele-Smallovými parametry.

### 5.3.1 Používání API Browser a Object Browser při vývoji projektu

Příkazy a části kódů lze čerpat jak z aplikace API Browser, tak rovněž z prohlížeče Object Browser a z nápověd přímo v prostředí VBA v Excelu. Popisy zde mnohdy doplňují informace z API Browser, a to především správným zápisem výčtů. Pro argumenty příkazu je spolehlivější čerpat výčty z prohlížeče Object Browser, protože umožňuje funkci „Copy to Clipboard“ pro kopírování výčtů, ale také proto, že v některých případech zápisy výčtů z API Browser nejsou skutečně kompatibilní s API, anebo mohou vést k nežádoucímu výsledku. Příkladem je příkaz k načtení hodnot výsledku Level and Distortion z měření Acoustic Response, kdy chce uživatel načíst pouze hodnoty pro jednu harmonickou složku. API Browser pro argument „DistortionHarmonicIndex“ uvádí výčty jako „H2“, avšak výsledný příkaz by pak ale načel pouze stejná data jako by byly hodnoty pro fundament. Proto je lepší použít výčet „DistortionHarmonicIndex\_H2“, který Object Browser nabízí přímo.



**Obr. 25** Prohlížeč Object Browser ve vývojovém prostředí VBA Excelu

Objekty APx API je nejjednodušší čerpat z API Browser, kde jsou objekty přehledně seřazeny a ke většině z nich je přidána dokumentace. Kromě výčtu mohou argumenty vyžadovat i data různých typů, tyto požadavky jsou popsány v API Browser. Pro číselné hodnoty se používají převážně dva typy. Double, který umožňuje zápis desetinných čísel, a Integer 32, který se používá pro celočíselnou hodnotu, jež většinou naznačuje použití pro index. Pro zápis znaků se používá datový typ string, data tohoto typu se v jazyce Visual Basic píše mezi dvě dvojice horních uvozovek, jako je například zápis "Vrms" pro určení jednotky úrovně efektivního napětí. Datový typ Boolean používá hodnoty True a False. Jednotlivé výčty a hodnoty objektů se oddělují čárkami. Výčty je možné uzavírat do kulatých závorek, ovšem může se stát, že u některých objektů mohou způsobovat problémy. Do podprogramu lze také vkládat komentáře pro lepší orientaci, nebo vložení příkazů, které by mohly být použity v budoucnu. Začátek komentáře se označuje apostrofem (') a celý komentář je zbarvený zeleně.

Příkazy specifické pouze pro určitý typ měření fungují jen na jedno měření daného typu, a pouze pokud je toto měření v danou chvíli zvoleno v programu APx500. Zvolené měření je to, které je zobrazeno v sekci Measurement uživatelského rozhraní. Při vývoji projektu využívající pouze jeden typ měření problém se zvolením nehraje velkou roli, neboť nově přidané měření v sekvenci je automaticky zvoleno.

Programování probíhá v modulu dokumentu v prostředí Visual Basic uvnitř Excelu. Aby VBA rozpoznalo příkazy sloužící k ovládání programu APx500, je nutné na začátku vyvíjeného programu definovat proměnnou APx. Proměnná se definuje výrazem Dim, jako zkratka pro dimenzi.

Dim APx As New APx500\_Application

Tento kód definuje objekty začínající výrazem „APx” jako příkazy pro aplikační prostředí APx500 zahrnuté v referencích vývojového prostředí. V případě potřeby může uživatel definovat proměnnou s jiným názvem a ten následně použít jako náhradu na začátku kódů všech objektů APx. Poté se může přejít k jednotlivým funkcím projektu. Každá funkce bude pod jedním podprogramem. Podprogram se píše do modulu, začíná výrazem Sub a názvem podprogramu a končí jednoduchým výrazem End Sub. Po vytvoření podprogramu lze do něj psát jednotlivé příkazy.

### 5.3.2 Aktivování měření

První podprogram pro aktivování měření je navržen tak, aby zobrazil měření, nebo ho přidal a vypsál hodnoty nastavení. Nejprve je vhodné, aby byl program uveden do stavu, kdy je možné přidat měření do sekvence. K tomu ve většině případů stačí přepnutí do sekvenčního režimu. Avšak měření Acoustic Response a Impedance/Thiele-Small jsou právě toho výjimkou. Tato měření vyžadují kvůli buzení reproduktoru rozhraním APx1701, aby byl v Signal Path Setup přepnut výstupní konektor na Transducer Interface. To se většinou provádí manuálně v APx500, ale lze to také provést s využitím VBA. Tyto úkony jsou zahrnuty v následujícím kódu:

```
APx.OperatingMode = APxOperatingMode_SequenceMode
APx.SignalPathSetup.OutputConnector.Type = OutputConnectorType_TransducerInterface
APx.SignalPathSetup.TransducerOutput.Amplifier1 = True
APx.SignalPathSetup.InputConnector.Type = InputConnectorType_AnalogBalanced
```

Tento zápis, kromě zmíněného sekvenčního režimu, nastaví jako výstup měřicího systému připojené rozhraní, aktivuje výstup zesilovače jedna a nastaví jako vstup měřicího systému symetrické analogové vstupy. Zákonitosti psaní příkazu je možné vysvětlit hned u prvního příkazu pro přepnutí do sekvenčního režimu. Zde se nachází objekt „APx.OpeartingMode“, se kterým pracujeme jako s proměnnou, jejíž hodnota se musí rovnat výčtu „APxOperatingMode\_SequenceMode“. Tyto příkazy lze zahrnout do podprogramu pro aktivaci měření. Jakmile je APx500 uveden do požadovaného stavu, je možné pokračovat v aktivaci požadovaného měření. K tomu je nutné buďto požadované měření přidat do sekvence v APx500, nebo měření v sekvenci zvolit, pokud je v ní již obsaženo. K přidání měření slouží funkce „AddMeasurement“, jejímž jedním možným zápisem je objekt následován argumentem obsahující index signálové cesty Signal Path začínající číslem 0 a výčtem typu měření. Jeden z možných zápisů příkazu pro přidání měření je:

```
APx.AddMeasurement 0, MeasurementType_AcousticResponse
```

Ke zvolení měření slouží funkce „ShowMeasurement“, jejíž argument obsahuje data typu string, a to názvem signálové cesty a názvem měření v sekvenci, nikoli zápisem jeho typu, jelikož může sekvence obsahovat více měření stejného typu. Jeho příkladem je:

```
APx.ShowMeasurement "Signal Path1", "Acoustic Response"
```

Tato funkce ovšem také způsobí chybu podprogramu, pokud měření v signálové cestě není, avšak tento problém bude vyřešen následně. Je žádoucí, aby byl podprogram ošetřen, aby jeho opětovné spouštění nepřidávalo do sekvence další měření stejného typu. K tomuto ošetření a zároveň vyřešení chybových hlášení se použije funkce VBA „On Error“, která se zapíše před chybovou funkcí a způsobí provedení určitého úkonu, pokud chyba skutečně nastane. V případě chyby stačí pro přesun na jinou pozici v podprogramu používat funkci „GoTo“ a návěstí pro identifikaci cílové pozice. V tomto podprogramu jsou použita dvě návěstí a to „pridaniAR“ a „vypisAR“, jejichž název je ovšem čistě orientační.

Na začátku samotného podprogramu pro aktivaci je nutné vložit příkaz pro přesun na návěstí „pridaniAR“, pokud nastane chyba. Tuto chybu může vyvolat následující funkce „ShowMeasurement“. Pokud měření v sekvenci nebude, nastane chyba, ale v opačném případě bude vykonávání podprogramu pokračovat přesunem na návěstí „vypisAR“. Za tento příkaz bude umístěno návěstí „pridaniAR“, které je následováno funkcí „AddMeasurement“. Celá tato logická část podprogramu bude dokončena návěstím „vypisAR“. Tato posloupnost návěstí zajistí, že po úspěšném vykonání funkce „ShowMeasurement“ program přeskočí všechny příkazy mezi ní a návěstím „vypisAR“, a tím tedy i funkci pro přidání měření. Kód níže je ošetřenou funkcí pro přidání, nebo zobrazení měření.

```
On Error GoTo pridaniAR
```

```
APx.ShowMeasurement "Signal Path1", "Acoustic Response"
```

```
GoTo vypisAR
```

```
pridaniAR:
```

```
APx.AddMeasurement 0, MeasurementType_AcousticResponse
```

```
vypisAR:
```

Je užitečné zmínit, že funkce „AddMeasurement“ může způsobit zaseknutí aplikace Excel. V takovém případě je nutné aplikaci zcela ukončit a otevřít znovu, nikoliv ji restartovat. Po návěstí „vypisAR“ nemusí z funkčního hlediska následovat žádné další funkce. Ovšem v tomto projektu bude využito pro vypsání parametrů nastavení z právě přidaného měření. Jednotlivé parametry budou vypisovány do buněk aktivního listu sešitu. K tomu se používají buňky jako proměnné, jejichž obsah se bude rovnat hodnotám načtených z patřičných příkazů z APx API. Pro zápis buňky se používá výraz „Excel.Cells“ následovaný závorkou označující řádek a sloupce aktivního listu. Zápis celého příkazu může vypadat takto:

```
Excel.Cells(1, 1) = APx.AcousticResponse.Generator.StartFrequency
```

```
Excel.Cells(2, 3) = APx.AcousticResponse.Generator.Levels.GetValue(Ch1,  
"Vrms")
```

Příkazy pro získání parametrů měření akustické odezvy se převážně nachází pod záložkou Generator, nebo GeneratorWithPilot. GeneratorWithPilot nahrazuje mnoho funkcí ze starší skupiny Generator a využití objektů z této skupiny je mnohdy spolehlivější, především u parametrů efektivní úroveň a stejnosměrná složka. K načtení



některých parametrů stačí mnohdy pouze objekt s názvem parametrů. V jiných případech jsou nutné použít nabízené objekty obsahující výraz jako „GetValue“, anebo argumenty pro specifikaci požadavku jako je například index výstupního kanálu pro měření. Uživatel může načíst jak číselné hodnoty, tak i právě použité jednotky pro dané veličiny. APx500 ovšem nevrací jednotky obsahující složitější znaky jako „Ω“, které se objevují například v měření Impedance/Thiele-Small. Je nutné poznamenat, že některé parametry se jmenují v API Browser jinak než v měřicím programu APx500. Příkladem je čas „Extend Acquisition“, který je označen jako „AdditionalAcquisitionTime“, tyto rozdíly mohou prodloužit čas vývoje projektu. Po výpisu všech potřebných parametrů lze podprogram doplnit povel, který zakáže nežádoucí vytváření dokumentu Report na konci sekvence. To se provede příkazem:

```
APx.Sequence.Report.Checked = False
```

Tento projekt se však později zabývá pouze spouštěním samostatných měření, nikoli spouštěním celé sekvence. U některých parametrů jako například „Channels (drvtr)“ u měření Impedance/Thiele Small vrací APx500 pouze indexy a v API Browser chybí popis vysvětlující číslování. V takových případech je uživatel odkázán na manuální změnu parametrů v programu APx500 a načítání hodnot do Excelu, k určení významu indexů.

---

```
Sub AR()
    APx.OperatingMode = APx.OperatingMode_SequenceMode
    On Error GoTo pridaniAR
    APx.ShowMeasurement "Signal Path1", "Acoustic Response"
    GoTo vypisAR
pridaniAR:
    APx.AddMeasurement 0, MeasurementType_AcousticResponse
vypisAR:
    APx.Sequence.Report.Checked = False
'Jednotky
    Excel.Cells(4, 3) = APx.AcousticResponse.Generator.StartFrequency
    Excel.Cells(4, 4) = APx.AcousticResponse.Generator.StartFrequency.unit
    Excel.Cells(5, 3) = APx.AcousticResponse.Generator.StopFrequency
    Excel.Cells(5, 4) = APx.AcousticResponse.Generator.StopFrequency.unit
    Excel.Cells(6, 3) = APx.AcousticResponse.Generator.PreMeasurementDelay.Value
    Excel.Cells(6, 4) = APx.AcousticResponse.Generator.PreMeasurementDelay.unit
    Excel.Cells(7, 3) = APx.AcousticResponse.Generator.Duration.Value
    Excel.Cells(7, 4) = APx.AcousticResponse.Generator.Duration.unit
    Excel.Cells(8, 3) = APx.AcousticResponse.AdditionalAcquisitionTime.Value
    Excel.Cells(8, 4) = APx.AcousticResponse.AdditionalAcquisitionTime.unit
    Excel.Cells(9, 3) = APx.AcousticResponse.Averages
    Excel.Cells(10, 3) = APx.AcousticResponse.Generator.Levels.Count
'Hodnoty
    Excel.Cells(4, 4) = APx.AcousticResponse.Generator.StartFrequency.unit
    Excel.Cells(5, 4) = APx.AcousticResponse.Generator.StopFrequency.unit
    Excel.Cells(6, 4) = APx.AcousticResponse.Generator.PreMeasurementDelay.unit
    Excel.Cells(7, 4) = APx.AcousticResponse.Generator.Duration.unit
    Excel.Cells(8, 4) = APx.AcousticResponse.AdditionalAcquisitionTime.unit
'Kanály a jejich napětí
    Excel.Cells(13, 3) = APx.AcousticResponse.Generator.GetChannelEnabled(Ch1)
    Excel.Cells(13, 4) = APx.AcousticResponse.Generator.GetChannelEnabled(Ch2)
    Excel.Cells(14, 3) = APx.AcousticResponse.Generator.Levels.GetValue(Ch1, "Vrms")
    Excel.Cells(14, 4) = APx.AcousticResponse.Generator.Levels.GetValue(Ch2, "Vrms")
    Excel.Cells(14, 5) = APx.AcousticResponse.GeneratorWithPilot.Levels.Sweep.unit
    Excel.Cells(15, 3) = APx.AcousticResponse.Generator.Levels.GetOffsetValue(Ch1, "V")
    Excel.Cells(15, 4) = APx.AcousticResponse.Generator.Levels.GetOffsetValue(Ch2, "V")
    Excel.Cells(15, 5) = APx.AcousticResponse.GeneratorWithPilot.Levels.Offset.unit
End Sub
```

---

**Obr. 26 Podprogram pro aktivování měření**

### 5.3.3 Nastavení parametrů měření

Druhý podprogram slouží pro načtení parametrů buněk sešitu a následnému nahrání programu APx500. Aby mohly být parametry změněny, musí být v programu APx500 vybraný typ měření, kterému parametry náleží, tudíž je pro jistotu funkčnosti použita opět funkce „Show Measurement“. Zápis jednotlivých příkazů pro změnu parametrů je opačný oproti příkazům pro jejich načtení. Stavba příkazu začíná objektem z APx API, který se rovná buďto hodnotě (buňce) nebo předdefinované proměnné. Právě nastavení efektivní úrovně a stejnosměrné složky signálu nelze provést přímo odkazem na obsah buňky, uživatel proto musí využít proměnné jako například „level1“ a „offset1“ a předem definovat, že se jejich hodnoty rovnají obsahům buněk. Objekty použité pro nastavení parametrů jsou mnohdy stejné, jako ty pro jejich načtení, ovšem ty objekty, které předtím končily výrazem „GetValue“, vyžadují pro správné fungování ukončit objekt výrazem „SetValue“. Je důležité dodat, že pro nastavení efektivní úrovně a stejnosměrné složky je nutné opět využít objekty ze skupiny GeneratorWithPilot. K tomu, aby měly výstupní kanály analyzátoru oddělené nebo jednotné nastavení napětí, slouží funkce „TrackFirstChannel“. Aby se zajistilo, že je požadovaný výstupní kanál aktivován, v tomto případě kanál jedna, použije se funkce „SetChannelEnabled“ s výčtem výstupního kanálu a hodnoty Boolean. Použití těchto dvou funkcí je zobrazeno níže.

```
APx.AcousticResponse.Generator.Levels.TrackFirstChannel = False
```

```
APx.AcousticResponse.GeneratorWithPilot.SetChannelEnabled Ch1, True
```

---

```
Sub ARnastaveni ()
Worksheets("NASTAVENI").Activate

level1 = Excel.Cells(14, 3)
level2 = Excel.Cells(14, 4)
offset1 = Excel.Cells(15, 3)
offset2 = Excel.Cells(15, 4)

APx.ShowMeasurement "Signal Path1", "Acoustic Response"
'APx.AcousticResponse.Generator.Levels.TrackFirstChannel = False
APx.AcousticResponse.GeneratorWithPilot.SetChannelEnabled OutputChannelIndex_Ch1, True
APx.AcousticResponse.Generator.StartFrequency = Excel.Cells(4, 3)
APx.AcousticResponse.Generator.StopFrequency = Excel.Cells(5, 3)
APx.AcousticResponse.Generator.PreMeasurementDelay = Excel.Cells(6, 3) 'Pre-Sweep'
APx.AcousticResponse.Generator.Duration = Excel.Cells(7, 3) 'Sweep Duration'
APx.AcousticResponse.AdditionalAcquisitionTime = Excel.Cells(8, 3) 'Extend Acquisition'
APx.AcousticResponse.Averages = Excel.Cells(9, 3)

APx.AcousticResponse.GeneratorWithPilot.Levels.Sweep.SetValue OutputChannelIndex_Ch1, level1
APx.AcousticResponse.GeneratorWithPilot.Levels.Sweep.SetValue OutputChannelIndex_Ch2, level2
APx.AcousticResponse.GeneratorWithPilot.Levels.Offset.SetValue OutputChannelIndex_Ch1, offset1
APx.AcousticResponse.GeneratorWithPilot.Levels.Offset.SetValue OutputChannelIndex_Ch2, offset2

End Sub
```

---

**Obr. 27 Podprogram pro nastavení parametrů měření**

U nastavení měření Impedance/Thiele-Small platí pro příslušné parametry stejná zákonitost a stejně jako u Acoustic Response se ne všechny parametry nachází pod

skupinou Generator. Obzvláště důležité je určení testovací konfigurace, od které se dále odvíjí nabídka dalších nastavení. I když jsou některé tyto parametry aktivní jen v určitých konfiguracích, lze je nastavit i v neaktivním stavu a poté je zobrazit. Pro přepínání mezi těmito režimy může uživatel použít libovolný ovládací prvek Excelu, nebo jednoduché tlačítko k spuštění podprogramu s výběrem jednou z konfigurací. Je vhodné upozornit, že Thiele-Smallovy parametry nemusejí být vždy vypočteny po získání impedanční charakteristiky, a proto je měřicí projekt doplněn funkcí „CalculateTsParameters“. Ukázka zápisu, těchto dvou funkcí je uveden níže.

```
APx.ImpedanceThieleSmall.TestConfiguration =  
ImpedanceConfiguration_External2Ch  
APx.ImpedanceThieleSmall.CalculateTsParameters = True
```

### 5.3.4 Provedení měření

Třetí podprogram slouží k provedení měření a načtení jednotlivých hodnot z daných výsledků měření z programu APx500 do sešitu v Excelu. Je vhodné používat funkci „ShowMeasurement“ a také provádět zápis hodnot do nevyužitých buněk, nebo použít buňky jiného listu sešitu. V tomto projektu jsou pouze spouštěna jednotlivá měření na základě jejich typu a funkcí „Start“, jak lze vidět na tomto příkladu:

```
APx.AcousticResponse.Start
```

Poté je možné načíst výsledky. Pro přehlednost je užitečné vypisovat hodnoty výsledků měření do jiného listu sešitu. K tomu se použije funkce „Worksheets.Activate“ pro přepnutí aktivního listu podle jeho názvu. Zápis pro přepnutí zobrazení na list „HODNOTY\_AR“ vypadá takto

```
Worksheets("HODNOTY_AR").Activate
```

Každá posloupnost načtených hodnot z APx500 je vrácena jako jednorozměrné pole. Tato pole je nutné zapisovat do jednotlivých řádků sešitu, nikoli do sloupců, protože by pak sloupec obsahoval jednu stejnou hodnotu ve všech buňkách. Pro výběr řádku, do kterého mají být hodnoty zapisovány, stačí použít označení rozsahu výrazem „Range“, kde každá buňka v rozsahu brána jako proměnná, která se rovna získaným hodnotám. Příklad použití této funkce je ukázán níže. Pokud má požadovaný výsledek měření hodnoty osy Y závislé na hodnotách osy X, je nutné načíst hodnoty pro každou osu do samostatného pole. Pro získání hodnot se používají příkazy, jejichž stavba obsahuje objekt skládající se z typu měření, typu výsledku, označení dat, nebo označení osy. Tento objekt je pak doplněn o argument obsahující výčty pro výběr dat, jako je určení kanálu požadovaných dat, a poté například výběrem levé, či pravé osy Y spojené s dodatečnými daty. To lze ukázat na výsledku, jako je například Rub and Buzz, jehož levá osa Y slouží k zobrazení dat Rub and Buzz Crest Factor a pravá osa Y slouží k zobrazení dat Rub and Buzz Peak Ratio. Pokud má výsledek pouze data na levé ose, je důležité je přesto specifikovat výčtem „VerticalAxis\_Left“, ten je nutné psát i pro hodnoty osy X. Výsledný příkaz pro zápis získaných dat z levé osy Y výstupního kanálu jedna do buněk prvního řádku vypadá takto:

Range("1:1") = APx.AcousticResponse.RubAndBuzz.GetAllYValues(Ch1, VerticalAxis\_Left)

Tento příkaz bude zapisovat hodnoty od začátku řádku jedna až po jeho konec. Výčet s označením kanálů stačí psát krátce „Ch1“, jak je uvedeno v API Browser, ale jak už bylo dříve zmíněno u výsledku LevelAndDistortion, jsou situace, kdy je lepší psát výčty v jejich delší formě, jak jsou přesně uvedeny v Object Browser VBA. Některé výsledky, jako třeba Phase, mají různé režimy zobrazení hodnot. Zde je možné například vybrat režim, který omezí rozsah osy Y na  $+180^\circ$  až  $-180^\circ$ , to provede příkaz:

APx.AcousticResponse.Phase.Mode = PhaseMode\_AbsWrapped

U výsledků, jako je Delay, jehož hodnoty nejsou nijak závislé, a tak data nezahrnují žádnou osu, se použije objekt ukončen výrazem „GetValues“, a pro výpis do buněk stačí pozměnit rozsah buněk, jak je ukázáno níže.

Range("A1:B1") = APx.AcousticResponse.Delay.GetValues

Při vývoji programu je důležité kontrolovat výsledný projekt i programem APx500. Při pohledu na graf Level and Distortion lze vidět, že první hodnota osy X je jiná pro data fundamentu a data H2, je tedy nutné používat hodnoty os pro každá data zvlášť. Pokud by uživatel použil hodnoty osy X pro fundament, budou výsledná data v sešitě nesprávná.

Sub ARspusteni()

```
APx.ShowMeasurement "Signal Path1", "Acoustic Response"
APx.AcousticResponse.Start
Worksheets("HODNOTY_AR").Activate

Range("3:3") = APx.AcousticResponse.ImpulseResponse.GetAllXValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("5:5") = APx.AcousticResponse.ImpulseResponse.GetAllYValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("7:7") = APx.AcousticResponse.ImpulseResponse.GetAllYValues(Ch1, VerticalAxis_Right)
Range("10:10") = APx.AcousticResponse.EnergyTimeCurve.GetAllXValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("12:12") = APx.AcousticResponse.EnergyTimeCurve.GetAllYValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("15:15") = APx.AcousticResponse.Level.GetAllXValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("17:17") = APx.AcousticResponse.Level.GetAllYValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("20:20") = APx.AcousticResponse.RelativeLevel.GetAllXValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("22:22") = APx.AcousticResponse.RelativeLevel.GetAllYValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("A25:B25") = APx.AcousticResponse.Deviation.GetValues
Range("A28:B28") = APx.AcousticResponse.Delay.GetValues
APx.AcousticResponse.Phase.Mode = PhaseMode_AbsWrapped
Range("31:31") = APx.AcousticResponse.Phase.GetAllXValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("33:33") = APx.AcousticResponse.Phase.GetAllYValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("36:36") = APx.AcousticResponse.GroupDelay.GetAllXValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("38:38") = APx.AcousticResponse.GroupDelay.GetAllYValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("41:41") = APx.AcousticResponse.LevelAndDistortion.GetAllHarmonicXValues(Ch1, DistortionHarmonicIndex_Fundamental)
Range("43:43") = APx.AcousticResponse.LevelAndDistortion.GetAllHarmonicYValues(Ch1, DistortionHarmonicIndex_Fundamental)
Range("45:45") = APx.AcousticResponse.LevelAndDistortion.GetAllHarmonicXValues(Ch1, DistortionHarmonicIndex_H2)
Range("47:47") = APx.AcousticResponse.LevelAndDistortion.GetAllHarmonicYValues(Ch1, DistortionHarmonicIndex_H2)
Range("49:49") = APx.AcousticResponse.LevelAndDistortion.GetAllHarmonicXValues(Ch1, DistortionHarmonicIndex_H3)
Range("51:51") = APx.AcousticResponse.LevelAndDistortion.GetAllHarmonicYValues(Ch1, DistortionHarmonicIndex_H3)
Range("53:53") = APx.AcousticResponse.LevelAndDistortion.GetAllHarmonicXValues(Ch1, DistortionHarmonicIndex_Total)
Range("55:55") = APx.AcousticResponse.LevelAndDistortion.GetAllHarmonicYValues(Ch1, DistortionHarmonicIndex_Total)
Range("58:58") = APx.AcousticResponse.ThdLevel.GetAllXValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("60:60") = APx.AcousticResponse.ThdLevel.GetAllYValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("63:63") = APx.AcousticResponse.ThdRatio.GetAllXValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("65:65") = APx.AcousticResponse.ThdRatio.GetAllYValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("68:68") = APx.AcousticResponse.DistortionProductRatio.GetAllXValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("70:70") = APx.AcousticResponse.DistortionProductRatio.GetAllYValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("73:73") = APx.AcousticResponse.DistortionProductLevel.GetAllXValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("75:75") = APx.AcousticResponse.DistortionProductLevel.GetAllYValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("78:78") = APx.AcousticResponse.RubAndBuzz.GetAllXValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("80:80") = APx.AcousticResponse.RubAndBuzz.GetAllYValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("82:82") = APx.AcousticResponse.RubAndBuzz.GetAllYValues(Ch1, VerticalAxis_Right)
Range("A85:B85") = APx.AcousticResponse.FrequencyShift.GetValues
Range("88:88") = APx.AcousticResponse.AcquiredWaveform.GetAllXValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
Range("90:90") = APx.AcousticResponse.AcquiredWaveform.GetAllYValues(Ch1, VerticalAxis_Left)
```

End Sub

## Obr. 28 Podprogram pro provedení měření

U měření Impedance/Thiele-Small vyžaduje příkaz pro získávání dat impedanční charakteristiky označení kanálu, nicméně je zde možné použít kterýkoliv kanál, APx500 nezobrazuje ve výsledcích impedance hodnoty z jednotlivých kanálů. Kromě klasického spuštění, má toto měření také funkci pro uchování dat první impedanční charakteristiky a spuštění nového měření. Po jeho dokončení jsou data obou výsledků porovnána, k určení dalších Thiele-Smallových parametrů. K spuštění tohoto druhého měření slouží tento příkaz:

`APx.ImpedanceThieleSmall.MeasureAddedMassKnownVolume`

Ten při určování zbylých parametrů bere v úvahu pouze hodnotu přidané hmotnosti, nebo známého objemu. Výběr hodnoty, která je pro toto doměření použita, je proveden změnou režimu „ThieleSmallMode“ a provede se příkazem jako je:

`APx.ImpedanceThieleSmall.ThieleSmallMode` =  
`ThieleSmallMeasurementMode_KnownVolume`

U tohoto objektu je opět nutné použití delší formy výčtu, jinak by bylo měření vždy nastaveno na režim Added Mass. V případě režimu Known Mmd je hodnota již zohledněna při prvním měření a spuštění druhého není možné. Při načítání vypočtených Thiele-Smallových parametrů je užitečné používat výčty z Object Browser, kvůli jejich specifickému označení v APx API. Pro nevypočítané parametry vrací APx500 datový typ integer s hodnotu 65535.

Hotové podprogramy lze spustit pomocí tlačítka Run Sub/UserForm, přímo ve vývojovém prostředí VBA. Pro snadnější používání podprogramů však stačí do sešitu vložit ovládací prvek, jakým je například tlačítko, a to s podprogramem propojit funkcí „přiřadit makro“. Nabídka ovládacích prvků se nachází pod skupinou „Vložit“ v kartě „Vývojář“. Výsledný dokument Excel je nutné uložit jako Sešit Excelu s podporou maker, tedy formát .xlsm.

## 6. ZÁVĚR

Tato práce zkoumá možnosti automatizace měření s využitím programu APx500. První část je věnována seznámení s analyzátory firmy Audio Precision a s programem APx500 pro ně určeným. Druhá část se věnuje rozбором prvků z uživatelského rozhraní měřicího programu APx500. Ve třetí části jsou rozebrány funkce automatické sekvence v samotném programu APx500 a popsány přípravy a nastavení externích programovacích prostředí pro práci s tímto programem. Mezi programovacími prostředími bylo použito jak LabVIEW a VEE, tak i Visual Studio a Excel, které využívají programovací jazyk Visual Basic for Applications. V dalších dvou částech se práce věnuje vytváření měřicích projektů a teoretickému úvodu k typům měření zahrnutých v daných projektech. V první praktické části je podrobně vysvětlen postup pro vytvoření nového měřicího programu v programovacím prostředí LabVIEW pro měření kmitočtové charakteristiky pomocí analyzátoru APx. Podrobnosti v postupech byly uváděny tak, aby bylo možné výsledky snadno replikovat. V této části je také vysvětleno fungování vytvářeného programu, aby bylo možné pochopit postupy programování, nutné i při návrhu jiného měřicího programu.

Druhá praktická část se věnuje měření akustické odezvy reproduktoru a jeho impedance s Thiele-Smallovými parametry. Následně je v ní uveden návrh a postup pro vytvoření měřicího projektu pro tato dvě měření v aplikaci Excel s využitím programovacího jazyka Visual Basic. Postup seznamuje se zákonitostmi psaní programu ve Visual Basic s využitím aplikačního prostředí APx. V práci je rovněž popisována komunikace mezi programem APx500 a externími programovacími prostředími. Výsledkem této práce jsou různé postupy pro vytvoření automatizovaného měřicího pracoviště, využívající analyzátor firmy Audio Precision a jejich měřicí program APx500.



## Literatura

- [1] Getting Started with the Audio Precision APx LabVIEW .NET Driver version 5.0 [online]. Audio Precision 2019, aktualizováno 2019-11-14. Dostupné na URL: <<https://www.ap.com/download/apx-labview-net-driver-19/>>
- [2] APx500 User's Manual version 5.0.3 [online]. Audio Precision 2006, aktualizováno 2019-11-15. Dostupné na URL: <<https://www.ap.com/download/apx-500-user-manual-2/>>
- [3] Getting Started with the Audio Precision APx LabVIEW DAQ Driver version 1.0 [online]. Audio Precision 2015, aktualizováno 2017-01-06. Dostupné na URL: <<https://www.ap.com/download/apx-labview-daq-driver-apx515/>>
- [4] Král, M.: Excel VBA výukový kurz Vyd. 1. Computer Press, 2010. ISBN 978-80-251-2358-4
- [5] About the API COM Wrapper version 5.0 [online]. Audio Precision 2018, aktualizováno 2018-12-28. Dostupné na URL: <<https://www.ap.com/download/apx-api-developer-tools-19/>>
- [6] Introduction to Programming the APx500 API version 5.0 [online]. Audio Precision 2018, aktualizováno 2018-12-28. Dostupné na URL: <<https://www.ap.com/download/apx-api-developer-tools-19/>>
- [7] Angus, R. B., Hulbert, T. E.: VEE Pro Practical Graphical Programming. London: Springer, 2005. ISBN 978-1852338701
- [8] About the API Wrapper version 5.0 [online]. Audio Precision 2018, aktualizováno 2018-12-28. Dostupné na URL: <<https://www.ap.com/download/apx-api-developer-tools-19/>>
- [9] Essick J.: Hands-On Introduction to LabVIEW for Scientists and Engineers. 3rd ed. Oxford University Press, 2015. ISBN 978-0190211899
- [10] AES standard method for digital audio engineering – Measurement of digital audio equipment. Rev. 200. Audio Engineering Society, 2004

## Seznam symbolů a zkratek

### Zkratky:

AP	...	Audio Precision
API	...	Application Programming Interface, aplikační prostředí
BNC	...	Bayonet Neill Concelman, konektor
COM	...	Component Object model, softwarové rozhraní
DAQ	...	Data Acquisition, sběr dat
DCR	...	Direct Current Resistance, parametr v APx500
DIM	...	Dimension, výraz v jazyce Visual Basic for Applications
FEKT	...	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
I/O	...	Input/output, vstup/výstup
SUB	...	Sub procedure, výraz v jazyce Visual Basic for Applications
T-S	...	Thiele-Small, vlastní název skupiny parametrů
THD	...	Total Harmonic Distortion, celkové harmonické zkreslení
USB	...	Universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice
VBA	...	Visual Basic for Applications, programovací jazyk
VEE	...	Visual Engineering Environment, měřicí programovací prostředí
VI	...	Virtual Instrument, virtuální nástroj programu LabVIEW
VUT	...	Vysoké učení technické v Brně

### Symbols:

$f$	...	kmitočet	[Hz]
$G$	...	zesílení	[dB]
$V_{in}$	...	vstupní napětí	[V]
$V_{out}$	...	výstupní napětí	[V]
$t$	...	čas	[s]
$c_0$	...	rychlost zvuku	[m/s]



$s$	...	vzdálenost	[m]
$L$	...	relativní hladina napětí	[dB]
$V_{\text{rms}}$	...	efektivní hodnota napětí	[V]
$\varphi$	...	fáze	[°]
$\tau$	...	čas zpoždění	[s]
$T$	...	doba jedné periody	[s]
THD	...	celkové harmonické zkreslení	[%]
$U_1$	...	efektivní hodnota napětí první harmonické složky	[V]
$U_2$	...	efektivní hodnota napětí druhé harmonické složky	[V]
$U_n$	...	efektivní hodnota napětí n-té harmonické složky	[V]
$\hat{Z}$	...	impedance	[ $\Omega$ ]
$\hat{U}$	...	fázor napětí	[V]
$\hat{I}$	...	fázor proudu	[A]
$R$	...	odpor	[ $\Omega$ ]
$j$	...	imaginární jednotka	
$X$	...	reaktance	[ $\Omega$ ]
$F_S$	...	rezonanční kmitočet	[Hz]
$Q_{\text{ES}}$	...	Elektrický činitel jakosti	[-]
$Q_{\text{MS}}$	...	Mechanický činitel jakosti	[-]
$Q_{\text{TS}}$	...	Celkový činitel jakosti	[-]
$S_D$	...	Plocha membrány	[cm <sup>2</sup> ]
$R_E$	...	Odpor kmitací cívky	[ $\Omega$ ]
$L_E$	...	Paralelní indukčnost kmitací cívky	[H]
$R_2$	...	Paralelní odpor kmitací cívky	[ $\Omega$ ]
$L_2$	...	Paralelní indukčnost kmitací cívky	[H]
$E_{\text{rm}}$	...	Exponent motorického odporu	[-]
$K_{\text{rm}}$	...	Koeficient motorického odporu	[-]
$E_{\text{xm}}$	...	Exponent motorické reaktance	[-]
$K_{\text{xm}}$	...	Koeficient motorické reaktance	[-]
$R_{\text{MS}}$	...	Mechanický odpor	[Ns/m]
$C_{\text{MS}}$	...	poddajnost uchycení membrány	[mm/N]
$M_{\text{MS}}$	...	mechanická hmotnost kmitacího systému	[g]

$V_{AS}$	...	Ekvivalentní objem reproduktoru	[l]
$Bl$	...	Silový faktor	[Tm]
$\eta_0$	...	účinnost reproduktoru	[%]
$M_{MD}$	...	hmotnost přidaná na membránu	[g]